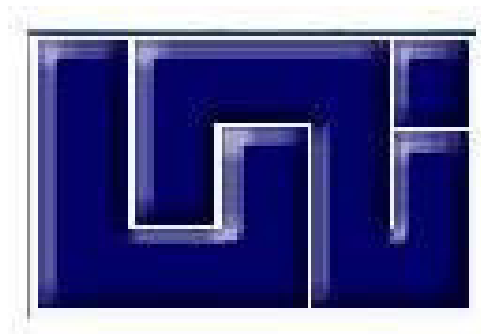


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE MEZCLADO PARA LA PRODUCCIÓN  
DE GASOLINAS PREMIUM Y REGULAR EN REFINERÍA MANAGUA**

TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:

**Juan Volney Poulson Esquivel**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO QUIMICO**

TUTOR

**Ing. Rodolfo Espinosa**

Managua, Nicaragua 2007

## **DEDICATORIA.**

*Esta obra esta dedicada primeramente a Dios todopoderoso, por darme la vida, la sabiduría y el conocimiento, otorgados a todos los que se lo piden de corazón.*

*Dedicado a mis padres Ing. John Volney Boulson e Hilda Esquivel Amaya, quienes me han apoyado en todo lo que me he propuesto. Y que con sus mejores consejos y guía me han llevado por el buen camino del aprendizaje de la vida, el amor, la familia y me han preparado para que pueda valerme por mi mismo. A mis hermanos Eric Boulson, Diana Boulson y Geisell Boulson quienes han reído y llorado a mi lado en todos los momentos importantes de mi vida, me han brindado su cariño y paciencia. Para ellos todo mi amor y esfuerzo. Siempre serán mi orgullo.*

*Dicen que el mejor consejo es el que se da uno mismo, sin embargo yo pienso que también los consejos de tus amigos son tan valiosos como el diamante más precioso del mundo. Por eso dedico este trabajo a mis amigos Daniel Romeo, Humberto Navas, Fzmin Corea, Giovanni Silva, Magda Obregón y Roberto Álvarez, quienes me brindaron su apoyo en los momentos oportunos. Se que tiene el éxito garantizado en todo lo que propongan.*

*Por ultimo pero no menos importante quiero dedicar este trabajo a todos mis profesores de la facultad de Ingeniería Química y a mi tutor monográfico Ing. Rodolfo Espinosa. Quienes me han dado el conocimiento necesario para poder ejercer la carrera de ingeniería química. Son lo mejor de lo mejor y siempre les estaré agradecido por toda la valiosa enseñanza que me brindaron a través de mis años en la universidad en el campo de de ingeniería y profesional. Por siempre gracias.*

## **AGRADECIMIENTOS.**

*Quiero brindar mis más sinceros agradecimientos a toda la familia de Refinería Esso Standard Oil S.A. quienes hicieron posible que este documento fuese realizado. En especial al Ing. Lino Dávila, por todo el apoyo técnico y asesoría que me brindó durante la realización de este proyecto.*

*También quiero agradecer al personal del departamento de procesos, por haber colaborado en la descripción del proceso de mezclado de las cuatro corrientes principales para la producción de gasolinas Premium y Regular, así como también el apoyo en la realización de los esquemas para la elaboración de los planos de instrumentación y tuberías. Agradeciendo muy especialmente a los supervisores de turno Antonio Torrez, Horacio Guadra, Leonardo Quintanilla, Alberto Mendoza, Ricardo Sandoval y los operadores responsables Freddy Guadra, Sergio Rayo, Ricardo Castillo.*

*Agradezco al personal de biblioteca técnica y del laboratorio de Refinería, en especial a Claudia González y Héctor Segovia, por haber facilitado toda la información requerida para realizar el diseño de las válvulas de control para implementación del proyecto.*

*Y por ultimo pero no menos importante quiero agradecer al personal de instrumentación por los valiosos consejos y sugerencias acerca de la instalación y mantenimiento de los instrumentos de medición de flujo y válvulas de control. Así como también al personal de dibujo técnico de Refinería por la elaboración y correcciones de los planos isométricos y los planos de instrumentación y tuberías que se realizaron para este proyecto.*

*Para todos mis más sinceros agradecimientos todos ustedes hicieron posible la realización de este proyecto. Muchas gracias.*

En este trabajo se presenta una propuesta para automatizar el sistema de mezclado en línea de las cuatro corrientes básicas: *butano*, *reformado pesado (HPF)*, *reformado ligero (LPF)* y *nafta virgen ligera (LVN)*; para la producción de gasolinas Premium y Regular dentro de los parámetros de calidad *RON* y *RVP*, en Refinería Managua Esso Standard Oil S.A.

El objetivo anterior fue alcanzado, realizando primero una *evaluación tecnológica* del sistema actual de tuberías; posteriormente, con la información obtenida se realizó un *diseño tecnológico*; y por último, se hizo un *análisis económico* para determinar si la inversión de automatizar el sistema de mezclado tiene un incentivo económico. Tanto la evaluación como el diseño se llevaron a cabo utilizando las prácticas y herramientas de diseño y evaluación de equipos propios de Esso Standard Oil.

Para la *evaluación tecnológica* el sistema actual de tuberías fue dividido en cuatro secciones, una por cada corriente. La base de la evaluación de cada sección es que la caída de presión no debe exceder 0.40 psi por cada 100 pies de tubería. Solamente la sección de butano no cumplió este requisito: la caída de presión es cuatro veces mayor a la máxima permitida. Por lo tanto, esta sección de tuberías debe ser modificada. Las secciones de tuberías para *LPF* y *LVN* mostraron un aumento de presión en lugar de caída de presión.

El *diseño tecnológico* consistió en redimensionar las tuberías que así lo requerían; y en seleccionar y dimensionar la instrumentación para la medición y el control de los flujos de las cuatro corrientes. Para automatizar el sistema de mezclado en línea se requiere la instalación de: Dos válvulas de control de flujo (FICV-11-19 y FICV-11-20) y dos medidores de flujo (FIC-119 y FIC-120) para la adicción de butano a las gasolinas Premium y Regular; una válvula de control de presión (PICV-11-3V) e indicador de presión para enviar el exceso de butano del sistema de mezclado a sus tanques de almacenamiento; y, por último, una válvula de control de flujo (FICV-11-18) y un medidor de flujo (FIC-118) para la adicción de *HPF* a la gasolina Premium. Adicionalmente, el diámetro de la tubería de butano debe aumentarse a 1 pulgada para satisfacer el criterio de caída de presión y para facilitar la instalación de la instrumentación seleccionada. Las corrientes de *LPF* y *LVN* ya cuentan con instrumentación para su medición y control.

En el *análisis económico* se usó como criterio la relación Beneficio Costo del proyecto. Los beneficios se calcularon en base al dinero no percibido por la empresa debido a los regalos de calidad en *RON* y *RVP* en ambas gasolinas. Estos regalos de calidad fueron de \$ 201,447.69 para la gasolina Premium y \$ 254,852.93 para la gasolina Regular para el año 2005 y ya convertidos a dinero actual. La inversión total del proyecto de automatización del sistema de mezclado es de \$ 65,748.97. Esto da como resultado una relación de Beneficio Costo de 6.94, con lo cual se demuestra que el proyecto tiene un apreciable incentivo económico.

## **INDICE.**

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>ii</b>
<b>OPINION DEL CATEDRATICO.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>iii</b>
<b>I. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>3</b>
<b>III. MARCO TEORICO.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. DESTILACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE GASOLINAS.....</b>	<b>4</b>
3.1.1. Destilación (fraccionamiento).....	4
3.1.2. Gasolina Automotriz.....	4
<b>3.2. SELECCIÓN Y DISEÑO DE TUBERIAS.....</b>	<b>9</b>
3.2.1. Dimensionamiento de Líneas.....	9
3.2.2. Selección de la Cédula de la Tubería.....	9
3.2.3. Vibración de Tubería.....	10
<b>3.3. FLUJO DE LIQUIDOS A TRAVES DE TUBERIAS.....</b>	<b>10</b>
3.3.1. Consideraciones Generales.....	10
3.3.2. Principios de Cálculo para la Caída de Presión.....	11
3.3.3. Tubería Recta Horizontal.....	12
3.3.4. Efecto de los Accesorios.....	13
3.3.5. Tubería no Horizontal.....	13
3.3.6. Combinación y División de Corrientes.....	14
<b>3.4. EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN PARA LA MEDICIÓN Y CONTROL DE FLUIDOS LÍQUIDOS DENTRO DE UN PROCESO DINAMICO.....</b>	<b>15</b>
3.4.1. Propósito del Control de Procesos.....	15
3.4.2. Funciones del Control de Procesos.....	16
3.4.3. Consideraciones de Seguridad.....	16
3.4.4. Requerimientos de Control y Métodos.....	17
3.4.5. Reglas Generales y Errores Comunes.....	17
3.4.6. Medición y Control de Flujo.....	18
3.4.7. Medición y Control de Presión.....	23
<b>3.5. VALVULAS CONVENCIONALES Y VALVULAS DE CONTROL PARA EL MANEJO DE FLUIDOS.....</b>	<b>25</b>
3.5.1. Tipos y funciones de las Válvulas.....	25
3.5.2. Válvulas de Operación Manual.....	26
3.5.3. Válvulas de Control en Plantas de Procesos.....	27
3.5.4. Coeficiente de capacidad de válvulas.....	28
3.5.5. Factor Cf de Flujo Crítico.....	29
3.5.6. Servicio con Líquidos.....	30
3.5.7. Condiciones de Funcionamiento.....	31
3.5.8. Derivación para la Válvula de Control.....	32
3.5.9. Posición de la Válvula de Control.....	32
3.5.10. Requisitos de Seguridad.....	32

3.6.	<b>ANÁLISIS BENEFICIO COSTO DE UN SOLO PROYECTO.</b>	32
3.6.1.	<i>Factor de Pago Único.</i>	32
3.6.2.	<i>Calculo de Tasas de Interés Desconocidas.</i>	32
3.6.3.	<i>Análisis Beneficio Costo.</i>	33
IV.	<b>METODOLOGIA</b>	35
4.1.	<b>CÁLCULOS DE LAS VARIABLES DE DISEÑO.</b>	35
4.2.	<b>EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA ACTUAL DE TUBERÍAS.</b>	36
4.3.	<b>DISEÑO TECNOLÓGICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE MEZCLADO.</b>	38
4.4.	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO MEDIANTE LA RELACIÓN BENEFICIO COSTO.</b>	39
V.	<b>RESULTADOS</b>	41
5.1.	<b>CÁLCULO DE LAS VARIABLES DE DISEÑO.</b>	41
5.1.1.	<i>Determinación de las propiedades físicas y químicas para el Butano, HPF, LPF y LVN.</i>	41
5.1.2.	<i>Determinación de las Presiones y Temperaturas de Operación para el Butano, HPF, LPF y LVN en las Mezclas de Gasolinas.</i>	45
5.1.3.	<i>Determinación de los flujos volumétricos para el Butano, HPF, LPF y LVN en las mezclas de gasolinas.</i>	48
5.2.	<b>EVALUACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE TUBERÍAS PARA LA MEZCLA DE BUTANO, HPF, LPF Y LVN.</b>	50
5.3.	<b>DISEÑO DE VÁLVULAS DE CONTROL DE FLUJO, PRESIÓN E INSTRUMENTACIÓN DE CONTROL.</b>	52
5.4.1.	<i>Resultados para la Corriente de Butano.</i>	53
5.4.2.	<i>Resultados para la Corriente de HPF.</i>	57
5.4.	<b>ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO MEDIANTE RELACIÓN BENEFICIO/COSTO.</b>	58
VI.	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.</b>	60
6.1.	<b>EVALUACIÓN DEL SISTEMA TUBERÍAS BUTANO, HPF, LPF Y LVN.</b>	60
6.2.	<b>SELECCIÓN DE VÁLVULAS DE CONTROL DE FLUJO, PRESIÓN E INSTRUMENTACIÓN DE CONTROL.</b>	61
6.2.1.	<i>Válvula de Control para Adición de Butano a Gasolina Premium.</i>	61
6.2.2.	<i>Válvula de Control para Adición de Butano a Gasolina Regular.</i>	62
6.2.3.	<i>Válvula de Control para enviar Butano a Tanques de Almacenamiento.</i>	63
6.2.4.	<i>Válvula de Control para Adición de HPF a Gasolina Premium.</i>	64
6.2.	<b>ANÁLISIS DE RELACIÓN BENEFICIO COSTO.</b>	65
VII.	<b>CONCLUSIONES.</b>	67
VIII.	<b>RECOMENDACIONES.</b>	68
IX.	<b>NOMENCLATURA.</b>	69
X.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.</b>	71
XI.	<b>APENDICES.</b>	72

## **INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.**

<i>Tabla 3.1. Exactitud Obtenida para un Medidor de Flujo.</i>	19
<i>Tabla 5.1. Propiedades Físicas y Químicas de Butano.</i>	42
<i>Tabla 5.2. Propiedades Físicas y Químicas de LPF.</i>	43
<i>Tabla 5.3. Propiedades Físicas y Químicas de HPF.</i>	44
<i>Tabla 5.4. Propiedades Físicas y Químicas de LVN.</i>	45
<i>Tabla 5.5. Valores Promedios Mensuales de RON y RVP para el Año 2005.</i>	45
<i>Tabla 5.6. Datos de Presión y Temperatura del Butano.</i>	46
<i>Tabla 5.7. Datos de Presión y Temperatura del HPF.</i>	47
<i>Tabla 5.8. Datos de Presión y Temperatura del LPF.</i>	47
<i>Tabla 5.9. Datos de Presión y Temperatura del LVN.</i>	48
<i>Tabla 5.10. Volúmenes de HPF y Butano Necesarios para Cumplir con la Especificación de RVP &amp; RON para Gasolinas Premium y Regular.</i>	49
<i>Tabla 5.11. Flujos Mínimo, Promedio y Máximo de Adición de Butano a Gasolinas Premium y Regular.</i>	49
<i>Tabla 5.12. Resultados de Caída de Presión en la Línea de Butano a Gasolinas.</i>	50
<i>Tabla 5.13. Resultados de Caída de Presión en la Línea de HPF a Gasolinas.</i>	51
<i>Tabla 5.14. Resultados de Caída de Presión en la Línea de LPF a Gasolinas.</i>	51
<i>Tabla 5.15. Resultados de Caída de Presión en la Línea de LVN a Gasolinas.</i>	52
<i>Tabla 5.16. Caída de Presión Totales por Sección de Tubería.</i>	52
<i>Tabla 5.17. Caída de Presión de Diseño para FICV-00-01.</i>	54
<i>Tabla 5.18. Resultados de Diseño de Válvula de Control para Butano a Gasolina Premium.</i>	54
<i>Tabla 5.19. Caída de Presión de Diseño para FICV-00-02.</i>	55
<i>Tabla 5.20. Resultados de Diseño de Válvula de Control para Butano a Gasolina Regular.</i>	55
<i>Tabla 5.21. Resultados de Diseño de Medidor de flujo para Butano a Gasolina Premium y Regular.</i>	56
<i>Tabla 5.22. Caída de Presión de Diseño para PICV-00-03.</i>	56
<i>Tabla 5.23. Resultados de Diseño de Válvula de Control para Butano a Tanques.</i>	56
<i>Tabla 5.24. Caída de Presión de Diseño para FICV-00-04.</i>	57
<i>Tabla 5.25. Resultados de Diseño de Válvula de Control para HPF a Gasolina Premium.</i>	57
<i>Tabla 5.26. Resultados de Diseño de Medidor de Flujo para HPF a Gasolina Premium.</i>	58
<i>Tabla 5.27. Beneficio Económicos del Proyecto Automatización del Sistema de Mezclado.</i>	58
<i>Tabla 5.28. Costos del Proyecto de Automatización del Sistema de Mezclado.</i>	59
<i>Tabla 6.1. Cv Calculado para la Válvula de Control FICV-00-01.</i>	62
<i>Tabla 6.2. Cv Calculado para la Válvula de Control FICV-00-02.</i>	63
<i>Tabla 6.3. Cv Calculado para la Válvula de Control PICV-00-03.</i>	63
<i>Tabla 6.4. Cv Calculado para la Válvula de Control FICV-00-04.</i>	64
<i>Figura 3.1. Plato de Orificio Concéntrico de Bordes Biselados</i>	21
<i>Figura 3.2. Plato de Orificio Integrado. (a) Diseño de Flujo Recto. (b) Diseño en Forma de U</i>	21
<i>Figura 3.3. Comparación entre la Caída de Presión y el Caudal de Flujo, para Elementos de Medición de Flujos por Diferencial de Presión</i>	22
<i>Figura 3.4. Perdida de Presión a través un Plato de Orificio</i>	24
<i>Figura 3.5. Control de Presión en Sistema de Tuberías</i>	25
<i>Figura 3.6. Tipos de Válvulas de Control. (a) Válvula de Control de Doble Asiento, (b) Válvula de Control de Asiento Sencillo, (c) Válvula de Control Tipo Jaula.</i>	27
<i>Figura 5.1. Cromatografía de Gases de Butano</i>	41
<i>Figura 5.2. Composición de la Corriente de LPF.</i>	42
<i>Figura 5.3. Curva de Destilación de Corriente de HPF.</i>	43
<i>Figura 5.4. Curva de Destilación de Corriente de LVN.</i>	44

## I. INTRODUCCION.

La *Refinería Managua Esso Standard Oil S.A.* (MANREF), es una planta altamente integrada del tipo destilación primario y tratamiento con hidrógeno. Esta unidad cuenta con un tren de intercambiadores de calor para el precalentamiento del crudo, una torre atmosférica denominada “APS”<sup>1</sup> por sus siglas en inglés, hidrofinadores para la remoción de azufre, nueve torres de destilación para la separación de las corrientes procedentes del APS y la unidad de hidroformador donde se produce la gasolina no terminada y el hidrógeno que requiere la planta para todos sus procesos.

En la torre atmosférica es donde se da el primer fraccionamiento del crudo en cuatro cortes principales, los cuales son: corte de ligeros que incluyen los compuestos desde C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, y el corte nafta<sup>2</sup>; corte de kero / varsol; corte de diesel y corte de fuel oil.

La producción de gasolina Premium (gasolina de 95 octanos<sup>3</sup>) y gasolina Regular (gasolina de 87 octanos) tienen como precursor el *corte de nafta*. El corte de nafta después de salir de la torre atmosférica debe pasar un proceso de remoción de azufre (“*hidrofinación de nafta*”), un proceso de destilación para obtener un corte específico (170 °F – 340 °F), un “*proceso de reformación*” que consiste en transformar la nafta hidrofinada y debutanizada<sup>4</sup> de bajo número de octanos (50 – 55 octanos) en un producto de alto número de octanos (95 -97 octanos). Posteriormente, el efluente del reformador debe ser destilado y enfriado antes de realizar el proceso de mezclado para la producción de gasolinas Premium y Regular que irán luego a los tanques de almacenamiento.

En el proceso de mezclado se involucran básicamente cuatro corrientes de mezcla, las cuales son: “Butano”, “Reformado Pesado” (HPF), “Reformado Ligero” (LPF) y “Nafta Virgen ligera” (LVN). Sin embargo, hay otras cuatro corrientes que ocasionalmente son utilizadas en el mezclado, las cuales son: Xileno, Solvesso 100, Varsol y el residuo de la planta de solventes. Estas corrientes son adicionadas a las gasolinas en base al modo de operación de la unidad del hidroformador y el modo de producción de la planta de solventes o unidad 800 (U-800). La planta de solventes tiene dos modos de producción: modo Xileno y modo DSP. Las últimas cuatro corrientes solamente están disponibles cuando la U-800 opera en modo Xileno, y son enviadas directamente a los tanques de almacenamiento de gasolinas, debido a que no es una práctica frecuente en la producción de gasolinas. Todas las corrientes de mezcla son utilizadas con el objetivo de que la gasolina cumpla con todos los parámetros de calidad. Existen una amplia gama de parámetros de calidad que las gasolinas requieren cumplir para ser certificadas a venta de acuerdo con las especificaciones ASTM D 4814-04b<sup>5</sup>. Los dos parámetros más importantes son: Número de

---

<sup>1</sup> Atmospheric Pipestill.

<sup>2</sup> La *nafta* está compuesta por cadenas de hidrocarburos de C<sub>5</sub> - C<sub>9</sub> y es la precursora de la producción de gasolinas.

<sup>3</sup> El *octano o número de octanos* es la expresión de las propiedades antidetonantes de una gasolina, comparadas con las de un combustible de la referencia estándar.

<sup>4</sup> Manual de operaciones ESSO STANDARD OIL.

<sup>5</sup> Specification for Automotive Spark-Ignition Engine Fuel.



octanos (RON<sup>6</sup>) y presión de vapor (RVP<sup>7</sup>). Otros parámetros son: índice de volatilidad (VLI<sup>8</sup>) Corrosión, contenido de Mn, contenido de azufre, destilación. Estos últimos parámetros están relacionados a los dos primeros y son mucho más fáciles de corregir en caso que se encuentren fuera de especificación. En el caso de la gasolina Premium las especificaciones a cumplir son 95 de RON y 10 psi de RVP. Mientras, para la gasolina Regular deben ser 87 de RON y 10 psi de RVP.

Refinería Managua ha logrado satisfacer la demanda de gasolina Premium y Regular, haciendo uso de un sistema de mezclado en línea básicamente manual. Esto conlleva inevitablemente a errores de factor humano, aún cuando se trate de operadores experimentados en el proceso, ya que el sistema de mezclado tiene un alto nivel de dificultad. A causa de la falta de un sistema automatizado de mezclado se han presentado varios casos en los cuales la producción de gasolinas se vio afectada en uno o más parámetros de calidad importantes tales como RON y RVP. Esto se generó debido a las variaciones en los flujos de mezcla, cambios de presión en el sistema, etc. Tales situaciones han provocando que el producto se salga de especificación o que haya un regalo de calidad (menor o mayor adición de LPG del requerido para la mezcla). Ninguna de estas alternativas es deseada por la compañía.

Para mitigar y corregir tales situaciones, se tuvieron que efectuar cambios en la operación normal de la planta para reprocesar el producto fuera de especificación. Esto trae consigo, un costo energético adicional al procesamiento normal de la planta. También puede ser causa de pérdidas de producto, lo que se traduce en más gasto económico. Por otra parte, se han reportado casos de retrasos en la certificación de tanques de gasolina para venta, debido a que la producción fuera de especificación puede echar a perder el producto que se encuentra dentro de los tanques de almacenamiento. Estas situaciones requieren una re-estructuración en los planes de producción de logística y en los tiempos de venta. Además, pueden provocar falta de inventario durante los paros de planta. Todo esto sin contar con el aumento de trabajo y tensión del personal responsable por la producción de gasolinas.

El propósito de este trabajo es economizar recursos mediante un diseño de automatización en el sistema de mezclado de las cuatro corrientes básicas para producción de gasolinas Premium y Regular. Para automatizar el actual sistema de mezclado se propone hacer una re-estructuración en el sistema de tuberías mediante la instalación de nuevas líneas, nuevas válvulas de control automático, nuevos distribuidores de corrientes para controlar los flujos y presiones del sistema de mezclas. Estas válvulas de control podrán ser manipuladas desde el cuarto de controles de Refinería, de donde se podrán ajustar los flujos, dirección de los flujos, presión y alineaciones. Con esto se garantizaría la mezcla adecuada de las cuatro corrientes básicas de mezcla, acorde a los cálculos elaborados por el departamento técnico en la producción de gasolinas.

---

<sup>6</sup> Research Octane Number.

<sup>7</sup> Reid Vapor Pressure.

<sup>8</sup> Vapor Lock Index.

## **II. OBJETIVOS.**

### ***2.1. OBJETIVO GENERAL.***

- Estudio del sistema de mezclado en línea de Butano, HPF, LPF y LVN para automatizar la producción de gasolinas Premium y Regular en Refinería Managua Esso Standard Oil S.A.

### ***2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.***

- Evaluar el sistema actual de tuberías e instrumentación con el cual se efectúan las mezclas de las cuatro corrientes básicas en la producción de gasolinas Premium y Regular.
- Diseñar el sistema automático de mezclado para las cuatro corrientes básicas en la producción de gasolinas, y obtener los valores deseados en los parámetros de calidad de RON y RVP acorde a los cálculos proporcionados por el departamento técnico.
- Analizar la relación Beneficio Costo para determinar si la inversión que representa la instalación del sistema automático de mezclado para la producción de gasolina Premium y Regular tiene un incentivo económico.

### **III. MARCO TEORICO.**

#### ***3.1. DESTILACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE GASOLINAS.***

##### ***3.1.1. Destilación (fraccionamiento).***

Es el paso primario del refinamiento de crudo, este es separado en fracciones o componentes en una torre de destilación, comúnmente llamada *pipestill*. El calor, normalmente es aplicado en el fondo de la torre, provocando que los vapores de aceite suban progresivamente a través de los niveles más frescos de la torre, dónde son condensados en los platos y son extraídos en el orden de sus temperaturas de condensación respectivas, o puntos de ebullición.

Los componentes más ligeros, es decir, las fracciones de bajo punto de ebullición, son extraídas en el tope de la torre. Estas fracciones primarias, desde la de menor punto de ebullición hasta la de mayor punto de ebullición son: gases de hidrocarburos (ejemplo, etano, propano); nafta (ejemplo, gasolina); el keroseno, diesel (aceite calorífico); y el gas de aceite pesado para el craqueo.

Los materiales pesados remanentes en el fondo de la torre, son llamados comúnmente fondos o residuos, e incluye componentes tales como el aceite de combustible pesado o “Bunker” y las sustancias asfálticas. Esas fracciones, tomadas en su forma líquida a cualquier nivel de la torre que no sea el tope o el fondo, son llamados productos laterales. Los productos tales como el propano, que son extraídos en forma de vapor por el tope de la torre de destilación, se llaman productos del tope.

La destilación del petróleo se puede dar en dos fases. La primera fase, son las fracciones más ligeras: los gases, la nafta, el keroseno y el diesel se obtienen esencialmente presión atmosférica. Luego, las fracciones de crudo remanente se destilan a la presión reducida en una torre al vacío. Esto se debe a que la fracción de aceite pesado se puede destilar a mucha menor temperatura de lo que pudiera hacerse a la presión atmosférica. Esto permite que más fracción de aceite pueda ser destilado sin que exista el craqueo molecular, el cual puede ocurrir a las temperaturas excesivamente altas (George V. Droff, 2003).

##### ***3.1.2. Gasolina Automotriz.***

Es la mezcla de fracciones de hidrocarburos ligeros de valor antidetonante relativamente alto. La gasolina para automóviles puede consistir de los siguientes componentes: naftas vírgenes, obtenidas por la destilación primaria del crudo; gasolina natural, la cual es despojada o separada del gas natural; las naftas craqueadas; las naftas reformadas. Una gasolina de calidad superior tiene las propiedades lo siguiente:

- La volatilidad apropiada para asegurar arranque fácil y precalentamiento rápido.
- Las características de una combustión limpia para minimizar los depósitos dañinos en la cámara de combustión.

- Los aditivos para prevenir óxido, oxidación, y depósitos en los carburadores, válvulas de succión e inyectores de combustible.
- El número de octano suficientemente alto para prevenir el golpe del motor.

La gasolina esta definida como una mezcla volátil de hidrocarburos líquidos, mas una pequeña cantidad de aditivos<sup>9</sup>.

La gasolina es una mezcla compleja de hidrocarburos relativamente volátiles, los cuales varían ampliamente en sus propiedades físicas y químicas. Las gasolinas pueden requerir ser mezcladas con compuestos oxigenados para mejorar su nivel de octanaje, mejorar el rendimiento del combustible y/o reducir las emisiones de los vehículos al medio ambiente.

La gasolina es una mezcla de varios hidrocarburos derivados de la destilación fraccionada del petróleo, y de procesos muy complejos en donde se incrementa ya sea la producción y/o la calidad de las gasolinas dependiendo de las necesidades que se desean satisfacer. Los cientos de hidrocarburos que forman parte de la gasolina están dentro del rango de C<sub>4</sub> (*butanos y butenos*) hasta hidrocarburos de C<sub>11</sub> tal como el *metil-naftaleno*.

Las propiedades de gasolinas comerciales son predominantemente influenciadas por las practicas de las refinerías que la produzcan y parcialmente influencias por la naturaleza del crudo que se este procesando.

Las gasolinas terminadas (comerciales) tienen un rango de ebullición entre 30 °C y 225 °C (86 F a 437 F) en un análisis de laboratorio Standard.

Los combustibles para motores de automóviles son mezclados para satisfacer diversos requerimientos de los motores. Es decir, son sometidos a diversos ambientes mecánicos, físicos y químico. Por lo tanto, las propiedades de los combustibles tales como la gasolina deben ser balanceadas para brindar un desempeño satisfactorio en los motores de combustión interna, dentro de un gran rango de condiciones de operación extremas. Entre las propiedades más importantes de la gasolina se encuentran:

- *El grado Antidetonante.*
- *Características de la destilación.*
- *Presión de vapor (RVP).*
- *Contenido de azufre.*
- *Estabilidad a la oxidación.*
- *Protección contra la corrosión.*

Estas más otras propiedades son necesarias para poder brindar un excelente desempeño de los combustibles en los motores de combustión interna. También, a menudo se le agregan diversos aditivos para proveer al combustible de características específicas en el desempeño de los motores (George V. Droff, 2003).

---

<sup>9</sup> ASTM D4814, Specification for Automotive Spark-Ignition Engines Fuel.

### Grado de Antidetonante.

El grado antidetonante y la volatilidad son quizás, las dos características más importantes de la gasolina. Si el grado de antidetonante es demasiado bajo, se producirá un golpeteo en el motor, lo cual es muy dañino para este, debido al desgaste extremadamente acelerado que se genera por dicho golpeteo.

Combustible con grado de antidetonante mayor que el nivel requerido para una operación en el motor libre de golpeteo, no mejora el desempeño del motor. Sin embargo, un decrecimiento en el grado de antidetonante produce un desempeño en los motores de combustión interna deficiente. La pérdida de poder y el daño que sufren los motores de combustión interna debido al golpeteo no son significativos hasta que la intensidad del golpeteo se torna muy severa, así como también el golpeteo prolongado puede causar las mismas consecuencias.

El golpeteo depende de muchos fenómenos físicos y químicos complejos, los cuales están altamente relacionados con el diseño de los motores y las condiciones de operación a los cuales estos están sometidos. Debido a esto no ha sido posible aun caracterizar por completo el desempeño de antidetonante en los combustibles como las gasolinas con una sola propiedad de medición. El desempeño del antidetonante en la gasolina esta íntimamente relacionada al motor en el cual será usado el combustible y las condiciones de operación del mismo. Más aun, la relación entre el grado de antidetonante y un motor varían de un diseño al otro, y pueden ser incluso diferentes en motores con el mismo diseño, debido a variaciones normales en la producción de los mismos.

El grado de antidetonante en la gasolina es medido en el laboratorio a través de un motor de un solo cilindro. Tres métodos de laboratorio han sido estandarizados para la medición del grado de antidetonante:

- *ASTM D 2699 / IP 237.*<sup>10</sup>
- *ASTM D 2700 / IP 236.*<sup>11</sup>
- *ASTM D 2885.*<sup>12</sup> (Este método es utilizado en analizadores continuos, es decir, analizadores en línea).

El *número de octano* es la expresión de las propiedades antidetonantes de una gasolina, comparadas con las de un combustible de la referencia estándar. Hay dos tipos distintos de número de octano medidos en el laboratorio: “*Research Octane Number*” (RON) y el “*Motor Octane Number*” (MON), determinado de acuerdo con ASTM D 2699 y D 2700, respectivamente. Ambas pruebas, RON y MON, son efectuadas en el mismo motor de laboratorio, pero el RON es determinado bajo las condiciones menos severas, y es por consiguiente numéricamente mayor que MON para el mismo combustible.

---

<sup>10</sup> Test Method for Knock Characteristics of Motor Fuels by the Research Method.

<sup>11</sup> Test Method for Knock Characteristics of Motor and Aviation Fuels by the Motor Method.

<sup>12</sup> Test Method for Research and Motor Method Octane Ratings.

El procedimiento consiste en que la gasolina que se quiere probar se corre en un motor especial de un solo cilindro, cuya proporción de condensación puede variarse (entre mayor la proporción de condensación, mayor el requisito de octano). La intensidad del golpeteo del combustible en la prueba, es medida por un *medidor de golpe*, la cual se compara con la intensidad de golpe de la mezcla del combustible de referencia estándar, medido bajo las mismas condiciones a las que se somete el combustible de la prueba.

Los combustibles estándares de referencia utilizados para preparar las mezclas son *iso-octano (2, 2, 4 –trimetilpentano)* y *n-heptano*.

*El iso-octano (2, 2, 4 –trimetilpentano)* es un isómero del octano ( $C_8H_{18}$ ) el cual posee propiedades antidetonantes muy buenas. Con un número de octano designado de 100, el iso-octano se usa como una norma para determinar el número de octano de gasolinas.

*El heptano* es un hidrocarburo parafínico líquido que contiene siete átomos del carbono en la molécula que puede ser de cadena lineal (normal) o de cadena-ramificada (el iso). El heptano es mezclado con el iso-octano para crear un combustible estándar de referencia en las determinaciones del laboratorio para el número de octano.

Estas mezclas son llamadas combustibles de referencia primarios. Por definición, el número de octanos del iso-octano es de 100, y el número de octanos del n-heptano es 0. A niveles de octano menores de 100, el número de octano, para una gasolina es el porcentaje en volumen del iso-octano en una mezcla con n-heptano. Por ejemplo, si la mezcla correspondiente contuviera 90% iso-octano, el número de octano del combustible de la prueba sería 90. Cuando el número de octanos para una gasolina es mayor que 100 esta es basada sobre el volumen de tetraetilplomo el cual debe ser agregado al iso-octano para que produzca golpeteo con la misma intensidad que la gasolina. El volumen de tetraetilplomo agregado al iso-octano es convertido a números de octano mayores que 100 mediante el uso de tablas incluidas en *“Research and Motor Method”*.

El número de octanos para una mezcla de combustible dada, ya sea iso-octano y n-heptano o iso-octano más tetraetilplomo, es por definición el mismo ya sea mediante el método “RON” o mediante el método “MON”. Sin embargo, el número de octanos mediante el método “RON” o el método “MON” raramente serán iguales para gasolinas comerciales. Por lo tanto, cuando se considere el número de octanos de una gasolina dada, es necesario saber el método utilizado para dicha medición.

*El método “RON”* es en general, el mejor indicador de la medición de antigolpeteo para motores que operan a máxima aceleración y a baja velocidad en el motor.

*El método “MON”* es el mejor indicador de la medición de antigolpeteo a máxima aceleración y a alta velocidad de motor, y a aceleración parcial con baja y alta velocidad de motor.

Para la mayoría de los motores de automóviles y para la mayoría de las condiciones de operación a la que estos motores se verán sometidos, el desempeño del antidetonante en el motor estará entre su *RON* y su *MON*. La relación exacta esta en dependencia del vehículo y las condiciones de operación. El grado antidetonante es el promedio entre el *RON* y el

*MON*, es decir,  $(R+M)/2$ , lo cual es actualmente el método aceptado para relacionar el *RON* y el *MON* con el desempeño del combustible en la carretera y su capacidad de antigolpeteo en el motor (George V. Droff, 2003).

### **Volatilidad.**

Las características de volatilidad de los combustibles para motores de combustión interna son de gran importancia para los vehículos en todas las condiciones a las que pueda ser sometido el vehículo en servicio normal. Los combustibles que se vaporizan fácilmente en bombas, líneas de combustible, carburadores o en los inyectores de combustible causaran un decrecimiento en el flujo de combustible hacia el motor. Como consecuencia se obtendrá mayor trabajo para el motor y que este se apague o bloquee (vapor Lock). Por el contrario, si el combustible no se vaporiza de forma adecuada entonces se obtendrán problemas para encender el motor, pobre calentamiento del motor, aceleración, así como también inusual distribución de la gasolina a través de los cilindros. Bajo ciertas condiciones atmosféricas, las gasolinas que se vaporizan con mucha facilidad pueden causar formación de hielo en la garganta de los carburadores, este problema ocurre comúnmente en vehículos con muchos años de uso.

La volatilidad de la gasolina usada por los motores de combustión interna, debe ser cuidadosamente balanceada para proveer un compromiso óptimo entre todas las características de desempeño que la gasolina debe cumplir, y esto estará en dependencia del comportamiento de la vaporización de la misma. Un alto desempeño en una de las características de la gasolina puede generar serios problemas en otra característica también importante. Por lo tanto, la característica de la volatilidad en la gasolina debe ser ajusta para variaciones climáticas, temperaturas cambiantes y variaciones geográficas de altitud.

### **Presión de Vapor.**

Una de las mediciones más comunes para determinar la volatilidad de la gasolina es la presión de vapor a 37.8 °C (100 F), medida en una cámara que cuenta con una proporción 4:1 de aire y combustible líquida (gasolina líquida). ASTM D 323<sup>13</sup> (Reid Method), puede ser usado solamente para gasolinas y mezclas de gasolina-éteres, pero no para mezclas de gasolina-alcohol, debido a que el aparato de medición puede extraer el alcohol de la mezcla y obtener resultados incorrectos. Por lo tanto, este método no aparece más en la lista de los métodos aceptados para combustibles de motores de combustión interna en “Specification D 4814”.

Para evitar el problema de interacción alcohol-agua en el D 323, se desarrolló un método que utiliza el mismo aparato y procedimiento pero en condiciones secas, este es el ASTM D 4953<sup>14</sup>, solamente usado para gasolinas de hidrocarburos.

Existen otros dos métodos que han sido desarrollados con los avances en la instrumentación, estos son ASTM D 5190<sup>15</sup> y el método ASTM D 5191<sup>16</sup>. La precisión de

---

<sup>13</sup> Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products.

<sup>14</sup> Test Method for Vapor Pressure of Gasoline and Gasoline-Oxygenate Blends (Dry Method).

estos dos últimos métodos es mucho mejor que la del ASTM D 4953 (George V. Droff, 2003).

### **3.2. SELECCIÓN Y DISEÑO DE TUBERIAS.**

A continuación se mostraran las consideraciones básicas para el diseño de tuberías que deben ser tomadas en cuenta siempre que se requieran nuevas líneas para un determinado proceso.

#### **3.2.1. Dimensionamiento de Líneas.**

En la mayoría de los casos, el tamaño de la tubería es determinado por la longitud de la línea y por la caída de presión permitida. La caída de presión permitida, en cambio, puede depender de muchos factores incluyendo requerimientos de proceso, factores económicos, seguridad, limitaciones de ruido y vibración, etc.

A menos que existan consideraciones especiales de proceso o seguridad, el dimensionamiento óptimo para tuberías es determinado haciendo un balance de inversión en tuberías y válvulas contra inversión en bombas y compresores. Todas las líneas que resulten costosas deberán ser consideradas individualmente y debe calcularse la inversión mínima para tuberías y equipos de bombeo.

Algunas líneas deben ser dimensionadas en base a consideraciones de proceso. Por ejemplo, las líneas de los compresores, líneas a la salida de los hornos, líneas alrededor de equipos al vacío, etc.

Por otro lado, existen otras líneas que su dimensionamiento se realiza en base a consideraciones de seguridad, por ejemplo, líneas de entrada y salida de válvulas de seguridad.

#### **3.2.2. Selección de la Cédula de la Tubería.**

La selección de la cédula de la tubería, diámetro interno, y grosor de la tubería deben ser conocidos. Para líneas de 12 in (300 mm) o menores, el diámetro interno de las tuberías estándares corresponden al diámetro nominal. Para tuberías mayores de 12 in el diámetro nominal corresponde al diámetro externo de la tubería.

El grosor mínimo de la pared de cualquier tubería ya sea que vaya a ser sometida a presión interna o externa es función del esfuerzo permitido del material de construcción de la tubería, así como también, el diámetro, la presión de diseño y proporciones de corrosión y erosión.

---

<sup>15</sup> Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Automatic Method).

<sup>16</sup> Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Mini Method).



El grosor de tuberías sometidas a presiones internas es determinado por la siguiente ecuación:

$$t_n \geq \frac{t_m}{0.875} = \frac{t + c}{0.875} \quad (3.1)$$

Donde t se expresa de la siguiente manera:

$$t = \frac{PD_o}{2S_t E} \quad (3.2)$$

Donde:

- $t_n$  : Grosor de la pared, in (mm).
- $t_m$  : Grosor mínimo de la tubería para satisfacer los requerimientos de presión, más las tolerancias de corrosión y erosión, in (mm). La tolerancia dimensional de los fabricantes para el grosor de la pared del tubo es de 12.5%. El grosor mínimo es de 87.5 % del valor nominal.
- $t$  : Grosor mínimo de a presión de diseño, in (mm).
- $c$  : Tolerancia total en in (mm) para corrosión y erosión, pero no es la tolerancia de fabricación.
- $P$  : Presión interna de diseño psig (kPa).
- $D_o$  : Diámetro exterior de la tubería, in. (mm).
- $S_t$  : Esfuerzo permitido, psi (MPa).
- $E$  : Factor longitudinal de unión ASME B31.3.

### **3.2.3. Vibración de Tubería.**

En particular, sistemas de tuberías para gases, con válvulas de control han experimentado problemas de fallas por fatiga donde existen la turbulencia excesiva y energía acústica elevada. Las vibraciones resultantes pueden crear esfuerzo excesivo que sobrepasa los límites de endurecimiento del material provocando una falla por fatiga.

## **3.3. FLUJO DE LIQUIDOS A TRAVES DE TUBERIAS.**

### **3.3.1. Consideraciones Generales.**

En la mayoría de los diseños de tuberías, el requerimiento primario es encontrar un diámetro interior que permitirá un cierto flujo requerido a un delta de presión dado. Esto usualmente involucra procedimiento de prueba y error. Si se escoge un diámetro se debe realizar un cálculo para determinar la caída de presión para un flujo requerido. Si la caída de presión calculada es demasiado grande, se toma un diámetro más grande para realizar el próximo ensayo. Si la caída de presión es más pequeña que la necesaria, se debe escoger un diámetro más pequeño.

Las caídas de presión típicas que pueden ser usadas para el dimensionamiento de tuberías se muestran en la *Tabla A.1. (Apéndice A)*. En el caso de los materiales de la construcción caros, se debe hacer un análisis económico para determinar el tamaño de la línea óptimo. En los casos de servicios de alta presión y líneas de vapor también puede ser deseable encontrar el tamaño de la línea óptimo (ExxonMobil Design Practices, 2001).

### 3.3.2. Principios de Cálculo para la Caída de Presión.

La ecuación básica para calcular la caída de presión para el flujo de líquido en las tuberías y accesorios es la ecuación generalizada de Bernoulli que asume la densidad constante:

$$\frac{K_{11}\Delta P}{\rho} = \frac{\alpha\Delta(V^2)}{2g_c} + \frac{g\Delta z}{g_c} + K_{12}F \quad (3.3)$$

Donde:

$K_{11}$  : 144. (Sistema inglés);  $10^{-3}$  (sistema métrico)

$F$  : Fricción o pérdida del cabezal, ft lbf/lbm (kPa m<sup>3</sup>/kg.)

$g$  : Aceleración de gravedad, ft/s<sup>2</sup> (m/s<sup>2</sup>)

$g_c$  : Constante Dimensional, 32.174 ft lbf / lbm s<sup>2</sup> (1.0 kg m/N s<sup>2</sup>)

$K_{12}$  : 1.0 (sistema inglés)

$K_{12}$  :  $10^{-3}$  (sistema métrico)

$\Delta P$  : Cambio de Presión, lbf/in<sup>2</sup> (kPa).

$V$  : Velocidad del fluido, ft/s (m/s).

$\frac{\Delta(V^2)}{2}$  : Cambio de la energía cinética en el fluido, ft<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>).

$z$  : Elevación, pie (m).

$\Delta z$  : Cambio en la elevación, pie (m).

$\rho$  : Densidad, lbm/ft<sup>3</sup> (kg /m<sup>3</sup>)

$\alpha$  : Constante que depende del perfil de velocidad ( $\alpha = 1.1$  para el flujo turbulento,  $\alpha = 2.0$  para flujo laminar).

Los significados de cada término se describen a continuación:

El término *cambio de presión* es la presión de entrada menos presión de salida. Para la mayoría de los casos este cambio de presión es positivo y por tanto representa una caída de presión.

El término *cambio de energía cinética* es la energía cinética del fluido en la salida menos la energía cinética del fluido en la entrada por unidad de masa de fluido. Puede ser positivo o negativo.

El término *cambio de elevación* es la elevación de salida menos la elevación de entrada, realmente es el cambio en la energía potencial por unidad de masa que fluye. También puede ser positivo o negativo.

El término *fricción o pérdida de cabezal* es siempre positivo, y representa la conversión irreversible de energía mecánica en energía interna. Analizando la Ecuación (3.3) se puede observar que los términos de cambio de energía cinética y cambio de elevación pueden resultar en caída de presión positiva o negativa, pero el término de fricción siempre resulta en una disminución de la presión, es decir una caída de presión positiva. La importancia relativa de las condiciones en la ecuación varía de aplicación en aplicación.

Para el caso de tuberías horizontales de diámetro constante, sólo el término de fricción en el lado derecho de la Ecuación (3.3) no es cero. Para las tuberías verticales o inclinadas, se debe incluir el término de elevación; y para los cambios de secciones, el término de energía cinética.

Para líquidos, en general, se puede asumir viscosidad y densidad constante. Los líquidos No-Newtonianos son una excepción a esta regla y se discute mas adelante. Otra excepción es el flujo no isotérmico, debido al intercambio de calor, o a la producción ó consumo de calor en el líquido por alguna reacción química o pérdidas por fricción.

Donde se pueda asumir que el flujo es isotérmico a través de una sección de tubería (pero no es isotérmico a lo largo de toda la tubería), la caída de presión puede determinarse dividiendo la tubería en varias secciones y calculando la caída de presión en cada sección. Cuando no puede asumirse que el flujo es isotérmico a través de una sección de la tubería y la viscosidad depende fuertemente de la temperatura, deben usarse métodos del cálculo especiales (ExxonMobil Design Practices, 2001).

### 3.3.3. Tubería Recta Horizontal.

La caída de presión en una tubería recta horizontal de diámetro constante es causada por la fricción y puede calcularse mediante la ecuación de fricción de Fanning. El factor experimental en esta ecuación, llamado el factor de fricción de Fanning,  $f$ , es una función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de pared de tubería. Para una clase dada de material de la tubería, la rugosidad relativa es independiente de diámetro de la tubería; por consiguiente el factor de fricción puede expresarse como una función del número de Reynolds y del diámetro de la tubería. Para el flujo laminar ( $Re < 2,100$ ), el factor de fricción es independiente de la rugosidad de la pared de la tubería y puede expresarse solamente como una función de número de Reynolds.

$$\Delta P = 4K_{x1} f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2g_c} \quad (3.4)$$

Donde:

$K_{x1}$  : 1/144 (sistema inglés).

$K_{x1}$  : 10<sup>-3</sup> (sistema métrico).

$D$  : Diámetro de la tubería, ft (m).

$f$  : Factor de fricción de Fanning, adimensional.

$g_c$  : Constante dimensional, 32.174 ft lb<sub>m</sub>/lb<sub>f</sub>s<sup>2</sup> (1.0 kg m/Ns<sup>2</sup>)

$L$  : Longitud de la tubería recta ft, (m).

$\Delta P$  : Caída de presión por fricción,  $\text{lb}_f/\text{in}^2$  (kPa).  
 $V$  : Velocidad del fluido, ft/s (m/s).  
 $\rho$  : Densidad,  $\text{lb}_m/\text{ft}^3$   $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

La precisión de la ecuación de Fanning esta directamente relacionada con la precisión del factor de fricción. La exactitud de la ecuación de fricción de Fanning es  $\pm 15\%$  para tubería lisa y  $\pm 10\%$  para tubería de acero comercial. El ensuciamiento puede reducir el área transversal o incrementar la aspereza de la pared de la tubería con el tiempo. Por consiguiente, cuando se calcula la caída de presión se debe dar un margen de ensuciamiento (ExxonMobil Design Practices, 2001).

#### *3.3.4. Efecto de los Accesorios.*

Los codos, Tees, válvulas, platos de orificio y otras restricciones de flujo causan caídas de presión adicional en una tubería. Los accesorios que tienen el mismo diámetro nominal que la tubería, pueden ser contabilizados como una longitud equivalente de tubería recta. Esta longitud equivalente puede ser calculada a través de los coeficientes de resistencia de los accesorios. Una vez que se ha calculado la longitud equivalente debe ser agregada a la longitud real de la cañería y la suma se usa en la ecuación de Fanning para predecir la caída de presión por fricción total. Cuando no esta disponible información detallada para tuberías, las siguientes guías pueden usarse para estimar la longitud equivalente:

##### *Tuberías Dentro de la Planta:*

Puede estimarse la longitud de la tubería a partir de los planos a escala, las alturas de la torre, etc. Para una estimación rápida de la longitud equivalente de los accesorios dentro de la planta se debe agregar entre 200% y 500% a la longitud de tubería real. Así mismo, un multiplicador de 3.0 a 6.0 puede ser aplicado a la longitud estimada de tubería recta. Una estimación buena puede obtenerse de *Tabla A.2. (Apéndice A)*. En tanto, los componentes en el circuito sean conocidos. Si el diseñador quiere mayor exactitud, debe saber todos los componentes en el circuito, hacer un plano preliminar de tuberías y accesorios y finalmente agregan una tolerancia apropiada.

##### *Tuberías Fuera de la Planta:*

Para las líneas fuera de la planta, la longitud aproximada de tubería recta puede estimarse a través del plano de la unidad o sección de interés. Los accesorios en línea fuera de la planta normalmente tienen una longitud equivalente de 20% a 80% de la longitud real, un multiplicador de 1.2 a 1.8 puede aplicarse a la longitud estimada de tubería recta (ExxonMobil Design Practices, 2001).

#### *3.3.5. Tubería no Horizontal.*

En caso de que las tuberías no sean horizontales, un término de elevación debe agregarse al cambio de presión calculado para la pérdida por fricción y energía cinética, mediante la siguiente ecuación.

$$(\Delta P)_e = K_{6a} \frac{\rho g}{g_c} (z_2 - z_1) \quad (3.5)$$

$$(\Delta P)_e = K_{6b} \rho (z_2 - z_1) \quad (3.6)$$

Donde:

$(\Delta P)_e$  : Caída de presión debido a cambio en elevación, psi (kPa).

$z_1, z_2$  : Elevación en la entrada y a la salida de la tubería, ft (m).

$K_{6a}$  : 1/144 (sistema ingles);  $10^{-3}$  (sistema métrico).

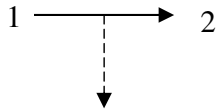
$K_{6b}$  :  $6.94 \cdot 10^{-3}$  (sistema ingles);  $9.81 \cdot 10^{-3}$  (sistema métrico).

La ecuación (3.5) se usa para flujo laminar y la ecuación (3.6) para flujo turbulento.

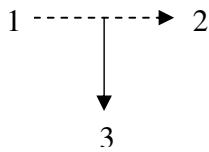
### 3.3.6. Combinación y División de Corrientes.

Cuando una corriente es dividida en dos o más sub-corrientes hay una pérdida por fricción y una por cambio de presión debido al cambio en la energía cinética. Lo mismo aplica al combinar de corrientes. Para Tees el cambio total de presión se da por la siguiente ecuación:

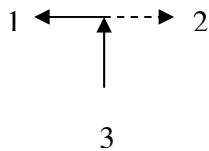
- Cuando se divide una corriente:



$$(\Delta P)_{1-2} = K_8 \rho (1.36V_2^2 - 0.64V_1^2 - 0.72V_1V_2) \quad (3.7)$$

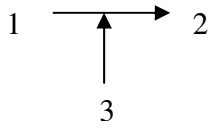


$$(\Delta P)_{1-3} = K_8 \rho (1.8V_3^2 - 0.368V_1V_3) \quad (3.8)$$

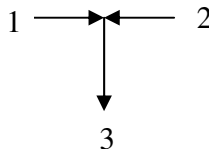


$$(\Delta P)_{3-1} = K_8 \rho (1.8V_1^2 - 0.368V_1V_3) \quad (3.9)$$

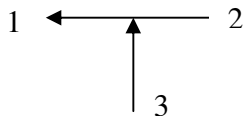
- Cuando se unen dos corrientes:



$$(\Delta P)_{1-2} = K_8 \rho \left( 2V_2^2 - 0.05V_1^2 - 2V_2 \left( 0.205V_3 \frac{Q_3}{Q_2} + V_1 \frac{Q_1}{Q_2} \right) \right) \quad (3.10)$$



$$(\Delta P)_{1-3} = K_8 \rho \left( 2V_3^2 - 0.4V_1^2 - 0.41V_3 \left( V_1 \frac{Q_1}{Q_3} + V_2 \frac{Q_2}{Q_3} \right) \right) \quad (3.11)$$



$$(\Delta P)_{3-1} = K_8 \rho \left( 2V_1^2 - 0.4V_3^2 - 2V_1 \left( 0.205V_3 \frac{Q_3}{Q_1} + V_2 \frac{Q_2}{Q_1} \right) \right) \quad (3.12)$$

Donde:

$K_8$  :  $1.69 \cdot 10^{-4}$  (sistema inglés);  $7.83 \cdot 10^{-4}$  (sistema métrico).

$\rho$  : Densidad, lbm/ft<sup>3</sup> (Kg./m<sup>3</sup>).

$V_1, V_2, V_3$  : Velocidad, ft/s (m/s).

$Q_1, Q_2, Q_3$  : Caudal gpm (dm<sup>3</sup>/s).

### 3.4. EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN PARA LA MEDICIÓN Y CONTROL DE FLUIDOS LÍQUIDOS DENTRO DE UN PROCESO DINAMICO.

Las unidades de procesos nuevas están equipadas con un sistema de control digital (DCS), el cual provee de capacidades de control avanzadas e interfaces con otros sistemas, incluyendo administración de la información, sistemas de contabilización de la información e interfaces de sólo lectura para proteger los sistemas. El diseñador de procesos puede hacer uso de las ventajas que provee el DCS para alcanzar los objetivos de diseño básicos del proceso.

#### 3.4.1. Propósito del Control de Procesos.

Más allá de las razones de automatización de los procesos se encuentra el factor económico, para alcanzar la producción deseada de manera segura y al más bajo costo. Los procesos dinámicos requieren de controles automáticos para hacer posible la operación de

las unidades en los casos bases de operación. Típicamente los objetivos de control incluyen:

- Reducir los costos en las labores de una tarea específica.
- Reducir o eliminar el error humano.
- Reducir el tamaño o el espacio requerido para los equipos del proceso.
- Mejorar la calidad del producto.
- Reducir el consumo de energía.
- Reducir el consumo de material prima.

### *3.4.2. Funciones del Control de Procesos.*

Cuando se quiere modificar exitosamente la instrumentación o sistema de control, es importante tener en cuenta las dos funciones básicas y los tres corolarios que son realizados en el control de procesos. Las dos funciones básicas son consideradas básicas porque son necesarias para la operabilidad de la planta. Las funciones corolarios son también importantes pero usualmente son consideradas después que la operabilidad de la planta ha sido establecida.

- *Funciones básicas:*  
*Mantener la estabilidad* en las condiciones de operación en puntos clave del proceso.  
*Proveer al operador de información* de las condiciones de operación y los medios para ajustar estas condiciones.
- *Funciones Corolarios:*  
*Automatizar las operaciones* para reducir la demanda de atención continua del operador.  
*Asegurar que las operaciones son seguras* tanto para el personal como para los equipos, medio ambiente y otros requerimientos regulatorios.  
*Mantener la calidad de los productos mientras se reducen los costos.*

### *3.4.3. Consideraciones de Seguridad.*

Los sistemas de control emplean modos de protección contra fallas, causadas por cualquier perturbación en el sistema ó cuando un evento catastrófico es detectado. La instrumentación o los componentes de control usados en modo de seguridad, tienen requerimientos especiales individuales y sistemas de integración especiales, los cuales reflejan su potencial funcionamiento en modo de seguridad. El diseñador de procesos en conjunto con el especialista en instrumentación y equipos normalmente son quienes definen las condiciones limitantes para mantener la operación de los equipos dentro de un rango de operación seguro.

#### 3.4.4. *Requerimientos de Control y Métodos.*

- *Subdividir para Simplificar el Análisis.*

Las modificaciones en un sistema de control de una unidad de proceso, requiere que la unidad sea subdividida en piezas que sean lo suficientemente pequeñas y lo suficientemente lógicas para permitir un análisis efectivo de cada pieza. Por ejemplo se puede realizar una subdivisión de la siguiente forma:

*Equipos mayores:* Fraccionadoras, hornos y generadores son equipos comunes en esta categoría.

*Circuitos principales:* Corrientes de alimentación y productos son los circuitos principales de esta categoría. Sin embargo, otros circuitos pueden ser considerados calificados.

*Circuitos auxiliares:* Estos son corrientes importantes que comienzan y terminan dentro de una unidad.

*Circuitos misceláneos:* Estos incluyen principalmente corrientes de utilidades y cualquier otro circuito, que no califica como circuito principal o auxiliar.

Cuando se modifica un diseño anterior en una unidad de procesos, se debe asegurar que el control de cada equipo o circuito este provisto con la facilidad de:

- Mantener el balance de materia.
- Mantener el balance de calor.
- Permitir el control de la calidad del producto en el nivel necesario.

Algunos ejemplos de sistemas de control de circuitos de proceso típicos son:

- Alimentación a la unidad desde tanques.
- Alimentación a la unidad desde otras fuentes.
- Corrientes de productos y otros efluentes.
- Corrientes internas auxiliares.
- Corrientes misceláneas.

#### 3.4.5. *Reglas Generales y Errores Comunes.*

*Uso del Control en Cascada.* Cuando la salida del controlador, en lugar de ir directamente a la válvula, es el set point de un segundo controlador (el cual controla la válvula), este arreglo es llamando control en cascada. Uno de los objetivos del control en cascada es compensar algún disturbio o perturbación en la línea que se encuentra la válvula de control, antes de que esta cause una variación en la variable primaria. Por ejemplo, la temperatura de salida en el serpentín de un horno, controla en cascada el flujo de combustible hacia los quemadores del horno. En esta situación, el control de flujo compensa cualquier cambio en la presión del gas antes de que pueda afectar seriamente la temperatura de salida.

Cuando se esperan disturbios en la línea de la válvula de control relativamente rápidos para que el lazo primario responda, el control en cascada puede ser implementado exitosamente.



*Necesidad de Respuesta para un Cambio en la Válvula de Control.* A menos que la variable de proceso este siendo controlada para responder a cambios en la abertura de la válvula de control, la retroalimentación no es posible.

*Dos Válvulas de Control en Serie.* Esta situación ocurre algunas veces, especialmente cuando las piezas son diseñadas por personas diferentes. Dos o mas válvulas en serie pueden ser apropiadas cuando una corriente entra o sale de entre otras corrientes o cuando las válvulas están en circuitos de sobrepaso individuales, tal como ocurre en el control en serie de servicios de intercambiadores de calor.

*Lazos Multi-variables.* Algunos problemas de control requieren entradas de dos o más variables de proceso y un algoritmo diferente a los tradicionales proporcional, integral y derivativa. Estos problemas pueden ser manejados con controladores analógicos y elementos de cómputos, pero controladores digitales son usualmente más efectivos y menos caros.

### **3.4.6. Medición y Control de Flujo.**

#### **Principio Utilizado.**

Existen muchos dispositivos para medir el flujo. Estos dispositivos miden el flujo indirectamente, es decir, miden una propiedad relativa al flujo. El principio de medición de flujo más utilizado es el de medición del cabezal o diferencial de presión. El tipo de dispositivo de medición de flujo seleccionado depende de un número de parámetros tales como: tipo de fluido y condiciones, costos, requerimientos de precisión, espacio disponible, por mencionar los más importantes.

#### **Criterios para la Selección de Medidores de Flujo.**

Aunque los platos de orificio son los medidores mas comúnmente seleccionados para la mayoría de las aplicaciones, la selección apropiada para medidores de flujo para una aplicación en particular requiere de una evaluación. Los factores más importantes que requieren consideración son: el estado del fluido, las condiciones del fluido, el número de Reynolds, densidad, rango de operación, problemas de instalación, y requerimientos de precisión. Además, el diseñador también deberá decidir en que base se harán las mediciones: flujo másico, flujo volumétrico (condiciones de operación o condiciones Standard) o energía. Una vez conocida la base de la medición se determina la instrumentación requerida para realizar dicha medición. Las consideraciones económicas también juegan un papel al momento de tomar una decisión. El costo inicial del equipo no es el único costo a considerar. También hay que tomar en cuenta los costos de instalación, costo de mantenimiento y costo de operación.

#### **Exactitud.**

La exactitud de un medidor de flujo esta definida como la medición más cercana entre la velocidad de flujo medida y la velocidad de flujo real de la tubería. La exactitud esta compuesta por: la precisión y la desviación. Precisión es la habilidad del dispositivo de

medición de dar la misma lectura para el mismo valor real de flujo. La precisión es normalmente función de la repetibilidad y estabilidad del sistema. La desviación es la diferencia en el valor promedio del flujo y el valor real del flujo.

Las aplicaciones de una planta pueden ser clasificadas en tres categorías:

- Clase I. Ventas, Transferencia de custodia, y otras aplicaciones que requieren de alta exactitud.
- Clase II. Balance de materia, y aplicaciones para evaluación de equipos.
- Clase III. Propósito general.

**Tabla 1** *Tabla 3.1. Exactitud Obtenida para un Medidor de Flujo Dado.*

<b>Tipo de medidor</b>	<b>Exactitud +/- % de caudal de flujo volumétrico medido.</b>		
	Clase I	Clase II	Clase III
Desplazamiento positivo	0.2	0.2	0.5
Platos de Orificio <sup>(1)</sup>	0.2	0.2	---
Turbina	1.0 <sup>(2)</sup>	2.0	5.0
Vortex	No recomendado	0.75	1.5
Coriolis <sup>(3)</sup>	0.2	0.2	0.5

Notas:

- (1) La exactitud de un plato de orificio es un porcentaje +/- de su escala completa.
- (2) Las refinerías permiten que los platos de orificio sean utilizados en Clase I, en aplicaciones de vapor de agua y gases de hidrocarburos.
- (3) La exactitud de un coriolis es un porcentaje +/- de flujo másico.

### **Medidores de Flujo del Tipo Diferencial de Presión.**

Los tipos más comunes de dispositivos de medición de flujos son los que producen un diferencial de presión, estos dispositivos depende de inferir el flujo volumétrico a partir de la raíz cuadrada de la medición del diferencial de presión producido a través de una restricción diseñada para tal fin en la tubería.

Ecuación Básica para calcular el flujo másico<sup>17</sup>:

$$q_M = N_{Mp} \frac{CY_1 F_a d^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{h_w \rho_{f1}} \quad (3.13)$$

<sup>17</sup> Esta ecuación es tomada de Foxboro's Flow Measurement Engineering Handbook by R. W. Miller. Y es la base para los cálculos de diseño de medidores de flujo realizados por el software de Esso Standard Oil. PEGASYS 6.01e.

Donde:

$q_M$  : Flujo másico. (lb/h) o (kg/h).

$N_{M\rho}$  : Factor de conversión 358.9268 para lb/h (sistema inglés).

$N_{M\rho}$  : Factor de conversión 162.8065 para kg/h (sistema métrico).

$C$  : Coeficiente de descarga, adimensional.

$Y_1$  : Factor de expansión de gas (para vapores hidrocarburos o vapor de agua, adimensional).

$F_a$  : Factor de corrección por expansión térmica. (in/in F) o (mm/mm C)

$d$  : Diámetro del productora del diferencial de presión (in) ó (mm).

$h_w$  : Presión Diferencial, en  $H_2O$  (a 60 F y 14.696 psia, 32.174 ft/s<sup>2</sup>) ó mm.  $H_2O$  (a 40 C, 1.03361 kg/cm<sup>2</sup>, 9.8066 m/s<sup>2</sup>).

$\beta$  : Proporción  $\beta$  (d/D), adimensional.

$\rho_{f1}$  : Densidad a las condiciones de flujo. (lb/ft<sup>3</sup>) ó (kg/m<sup>3</sup>).

$D$  : Diámetro interno de la tubería. (in) ó (mm).

### **Medidores de Flujo de Plato de Orificio.**

Es el medidor de flujo del tipo diferencial de presión mayormente usado. ASME y API han investigado y realizado pruebas a través de los últimos 75 años para determinar el coeficiente de descarga empírico con un alto grado de exactitud para un amplio rango de líquidos y gases a diferentes condiciones del fluido.

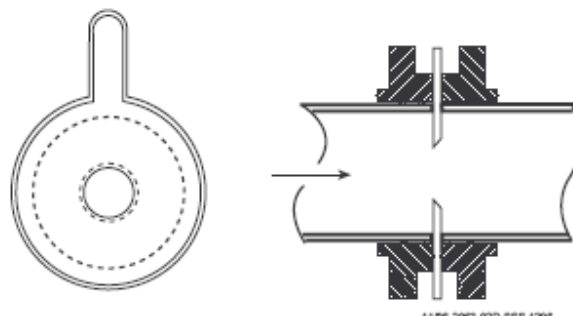
La instalación de un plato de orificio generalmente consiste en un juego de rebordes, dos tapas de conexión interconectando un múltiple de transmisores a través de tubería flexible y un sensor de diferencial de presión (transmisor).

### **Plato de Orificio Concéntrico de Bordes Biselado.**

Es el plato de orificio mayormente usado, tanto para aplicaciones de líquidos como de gases, *Figura 3.2*. Es el medidor de flujo de menor costo de fabricación y el mas fácil de instalar o cambiar. Si es correctamente instalado la exactitud de la medición esta entre un + / - 1.0% a 5.0% de la escala máxima. Sin embargo, hay que reconocer que este dispositivo tiene ciertas limitaciones.

La primera limitación es el número de Reynolds. Por debajo de un número de Reynolds de 10,000 el coeficiente de descarga básico cambia drásticamente con el número de Reynolds y así con la velocidad de flujo. Por esta razón, estos platos de orificio no son utilizados en esta región.

La segunda limitación es que debido a la relación entre la raíz cuadrada del diferencial de presión y la velocidad del flujo, el rango de operación de este dispositivo se ve severamente limitado sin tomar en cuenta ciertas medidas, como usar transmisores de alta exactitud, múltiples transmisores convencionales.

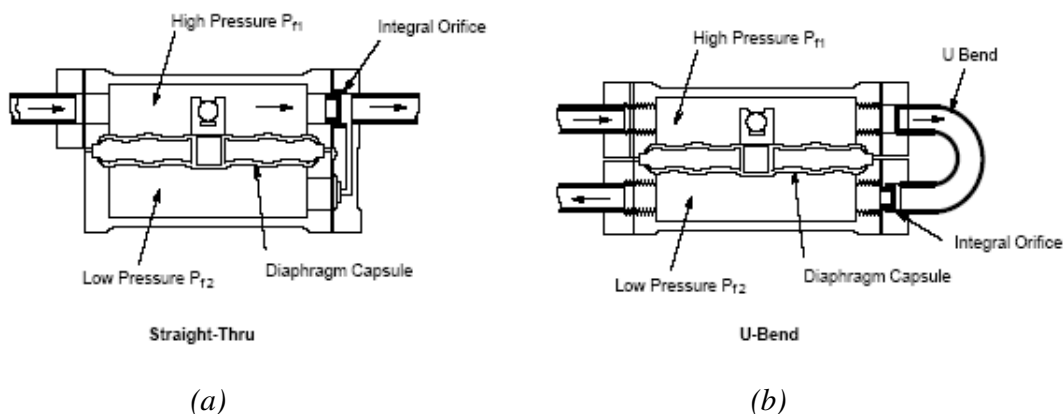


**Figura 1** *Figura 3.1. Plato de orificio concéntrico de bordes biselados. Tomado del ExxonMobil Design Practices 2001.*

### **Plato de Orificio Integrado.**

Los platos de orificios integrados son normalmente usados para medir flujos muy pequeños. Generalmente para mediciones de líquidos por debajo de los 0.04 gpm (0.015 l/min), y para gases con una flujo de std ft<sup>3</sup>/h (25 std l/h). La exactitud es de  $\pm 2\%$  de la escala total.

Los platos de orificio integrados vienen en tamaños de tubería estándar de 0.5 pulg. (12.3 mm), 1 pulg. (25.4 mm) y 1.5 pulg. (37.7 mm). Estos dispositivos vienen en dos diferentes estilos: Un diseño de flujo recto y un diseño en forma de U, *Figura 3.2*. No se recomienda su uso en servicios sucios y la instalación de filtros debe ser considerada.



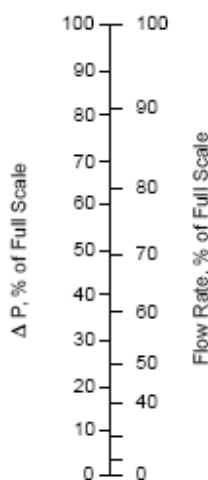
**Figura 2** *Figura 3.2. Plato de orificio integrado. (a) Diseño de flujo recto. (b) Diseño en forma de U. Tomado del ExxonMobil Design Practices 2001.*

### **Rango de Operación.**

El rango de operación, es la habilidad del medidor de flujo de abarcar un rango de caudales, dentro de los límites de exactitud especificados. Esta usualmente definido, como la relación entre la velocidad de flujo máxima y la mínima.

Para los medidores de flujo de tipo diferencial de presión, el rango de operación del flujo es limitado severamente, debido a la relación que existe entre la raíz cuadrada del diferencial

de presión y la velocidad del flujo. Para obtener un cambio en el diferencial de presión de 100% a 10% de la escala máxima, *Figura 3.3*. El cambio obtenido en el caudal es solamente de 100% a 30% de la escala máxima. Por lo tanto, para la mayoría de las aplicaciones de diferencial de presión el máximo rango de operación para un orificio es entre 100/30 o una proporción de 3 a 1 para un transmisor estándar de diferencial de presión. Se recomienda que el caudal normal se encuentre entre el 70% al 80% de la escala máxima y para el caudal mínimo y máximo se recomienda que se encuentren entre el 30% y 95% respectivamente. Sin embargo, el rango de operación puede ser extendido hasta una proporción de 10 a 1 a través del uso de los nuevos transmisores de diferencial de presión de alta exactitud. Si se requieren rangos de operación mayores de una proporción de 4 a 1 usando transmisores convencionales, se deberán instalar múltiples transmisores de diferencial de presión en paralelo a través del mismo set del plato de orificio.



**Figura 3** *Figura 3.3. Comparación entre la caída de presión y el caudal de flujo, para elementos de medición de flujos por diferencial de presión. Tomado del ExxonMobil Design Practices 2001.*

### **Coefficiente de Descarga**

Cada medidor de flujo del tipo de diferencial de presión tiene algo llamado coeficiente de descarga, (C). El coeficiente de descarga corrige la ecuación teórica de la velocidad de flujo por la influencia del perfil de velocidad (numero de Reynolds). El coeficiente de descarga es un factor muy importante en la definición de la forma del paso del fluido. Este es sumamente influenciado por factores tales como: el diámetro del orificio, el diámetro de la tubería, la velocidad, densidad y viscosidad del fluido.

La relación entre el diámetro del orificio y el diámetro de la tubería,  $d/D$ , también llamado (proporción  $\beta$ ). Esta usualmente limitada a un máximo de 0.7 debido a la sensibilidad del coeficiente de descarga a cosas como el diámetro de la tubería y las variaciones en la rugosidad de la tubería. Sin embargo, para nuevos diseños es mejor limitar la proporción  $\beta$  a 0.65. si la relación  $d/D$  excede el límite, esta puede ser reducida incrementando el diámetro de la tubería para el tramo donde se vaya a instalar el medidor de flujo. Una relación  $d/D$  alta es una señal de una velocidad alta en la tubería y los cálculos de caída de

presión para la tubería deberían ser verificados. Por el contrario, la proporción  $\beta$ , es usualmente limitada a un mínimo de 0.25. Cualquier cosa menor de 0.25 debe ser considerado sospechoso indicando un sobre dimensionamiento de la tubería. Por lo tanto, para un nuevo diseño de medidor de flujo la proporción  $\beta$  deberá estar en un rango de 0.25 a 0.70.

### **Caída de Presión.**

La caída de presión es un reflejo de la pérdida de energía cuando un fluido pasa a través de un medidor de flujo. La diferencia entre la presión estática aguas arriba del medidor de flujo y la presión estática final aguas abajo del medidor de flujo es llamada la caída de presión o pérdida de presión permanente (irrecuperable).

Durante el diseño, la pérdida de presión irre recuperable para un medidor de flujo del tipo diferencial de presión puede ser calculada como un porcentaje del rango de diferencial de presión seleccionado para el medidor. Para refinerías los rangos de diferencial de presión de los medidores Standard son de 10, 20, 25, 50, 100 y 200 pulgadas de agua. Para nuevos diseños un diferencial de presión preliminar de 100 pulgadas de agua es preferido. Esto representa un buen compromiso entre un diferencial de presión satisfactorio para la exactitud de la medición y la pérdida de presión permanente. Para la mayoría de los platos de orificio, la pérdida de presión permanente es alrededor de 60% del rango de diferencial de presión seleccionado.

### **Requerimientos de Tubería Recta.**

Cuando el fluido se aproxima a la entrada del medidor de flujo, es muy importante que el perfil de la velocidad del fluido no solamente sea uniforme sino que también se requiere que sea simétrico alrededor del eje axial de la tubería. Para obtener las características deseadas para el flujo, es necesario proveer una longitud de tubería recta aguas arriba del medidor de flujo, la cual deberá estar libre de cualquier obstrucción al flujo. La longitud de tubería recta requerida difiere según el tipo de medidor de flujo, y esta fuertemente influenciada por la geometría de la tubería inmediatamente adelante del medidor de flujo. Como regla general la longitud de la tubería recta aguas arriba deberá ser 20 veces el diámetro de la tubería y 5 veces aguas abajo del medidor del flujo.

#### ***3.4.7. Medición y Control de Presión.***

En el diseño y operación de procesos, las mediciones de presión dan un poco de problemas. Cualquier problema encontrado esta usualmente relacionado con la naturaleza de los instrumentos de medición más que problemas asociados a la naturaleza del proceso.

Los transmisores de presión inteligentes, incluyen típicamente componentes de microprocesadores que mejoran la exactitud de las mediciones y permiten realizar cambios de manera remota. Estos transmisores inteligentes son preferidos y recomendados para las nuevas aplicaciones y los nuevos diseños.

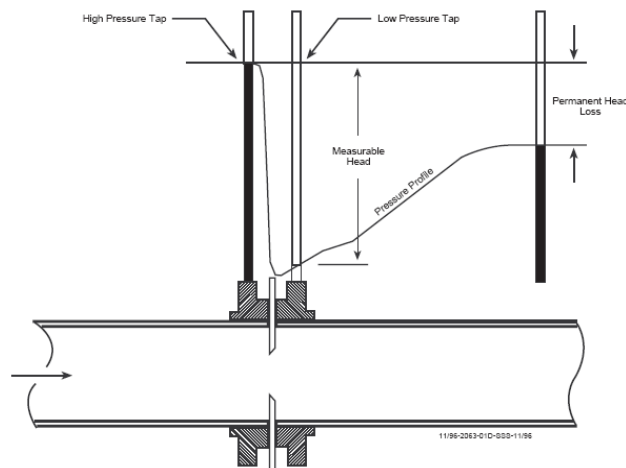
### Medición de Presión.

El más frecuente dispositivo de medición de presión es el manómetro de medición local. Los manómetros de medición local deben ser instalados únicamente donde exista una verdadera necesidad de una indicación de presión local, ya sea para arranques de la unidad, operaciones manuales locales, tales como cambiar bombas u otra aplicación especial.

### Medición de Diferencial de Presión.

El método tradicional de medición del diferencial de presión entre dos puntos es utilizar un transmisor de diferencial de presión, se puede realizar el mismo cálculo utilizando otro método de medición, el cual consiste en utilizar dos transmisores de presión de alta exactitud por separado. En este caso el cálculo del diferencial de presión lo ejecutaría el sistema de control digital. La ventaja de usar dos transmisores de presión es la eliminación de largos tramos de tuberías para instrumentación que se utilizan en los dos puntos que debe censar el transmisor que mide el diferencial de presión.

Muchos factores deben ser considerados cuando se este decidiendo entre utilizar un transmisor de diferencial de presión o dos trasmisores de presión para realizar el calculo de diferencial de presión. Estos factores son: longitud de líneas transmisoras del impulso del dispositivo de diferencial de presión, el servicio en cuestión, la probabilidad de falla del impulso, la exactitud del transmisor y problemas para mantener los transmisores de diferencial de presión del instrumento secos ó con liquido en algunos casos, *Figura 3.4.*

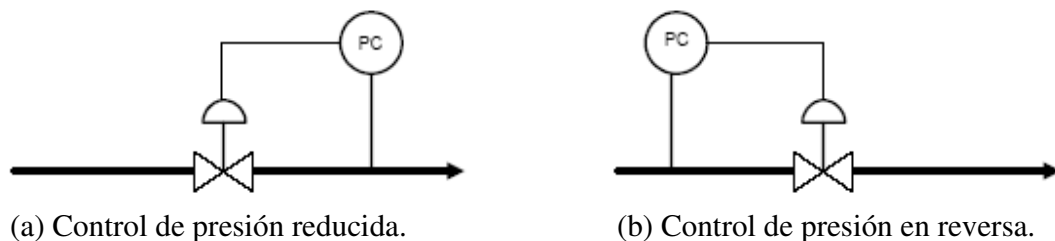


**Figura 4**Figura 3.4. *Perdida de presión a través un plato de orificio. Tomado del ExxonMobil Design Practices 2001.*

### Control de Presión en Sistemas de Tuberías.

El control de presión en sistemas de tuberías, generalmente cae en dos categorías: Control de presión reducida y control de presión en reversa. En el control de presión reducida, el objetivo es controlar la presión aguas abajo del sistema. Mientras, en el caso del control de presión en reversa, se controla la presión aguas arriba del sistema, *Figura 3.5*.

Típicamente es fácil obtener un buen control de presión para estas aplicaciones. La respuesta de la presión del sistema al movimiento de una válvula de control es relativamente rápido, los controladores usualmente puede ser ajustados para una mayor rapidez de respuesta y la presión regresa al punto deseado rápidamente después de un desajuste.



**Figura 5** *Figura 3.5. Control de presión en sistema de tuberías. Tomado del ExxonMobil Design Practices 2001.*

### **3.5. VALVULAS CONVENCIONALES Y VALVULAS DE CONTROL PARA EL MANEJO DE FLUIDOS.**

Después de las mediciones de temperaturas, el flujo es la variable de medición más común en la mayoría de las plantas de procesos, donde la naturaleza del proceso es continua o discontinua. La precisión en las mediciones y el control de los flujos es también algo muy crítico desde el punto de vista económico, ya que cada fluido que corre por la planta tiene un precio asociado a él. Muchos procesos son controlados variando el flujo de un fluido. Por ejemplo, el reflujo en una torre de fraccionamiento, fluido para el calentamiento de un rehervidor, combustible para los hornos, etc.

En general, las mediciones de fluidos pueden ser agrupadas en cuatro categorías:

- Mediciones básicas para el monitoreo del proceso y regulaciones de control.
- Balance de materiales de las unidades.
- Información contable para la transferencia de productos.
- Información requerida para el gobierno o entidades regulatorias.

#### **3.5.1. Tipos y funciones de las Válvulas.**

El tipo de válvula dependerá de la función que debe efectuar, sea de cierre (bloqueo), estrangulación o para impedir el flujo inverso. Estas funciones se deben determinar después de un estudio cuidadoso de las necesidades de la unidad. Es de importancia primordial



conocer las características químicas y físicas de los fluidos que se manejan. Se debe prestar atención a:

*Función de la Válvula:*

- Válvulas de cierre, también conocidas como válvulas de bloqueo.
- Válvulas de estrangulación
- Válvulas de retención.

*Tipo de Servicio:*

- Líquidos
- Gases.
- Líquidos con gases
- Líquidos con sólidos.
- Gases con sólidos.
- Vapores generados instantáneamente por la reducción en la presión del sistema.
- Con corrosión o sin corrosión
- Con erosión o sin erosión.

Las características principales y los usos más comunes de los diversos tipos de válvulas para servicio de bloqueo o cierre son:

*Válvulas de Compuerta:* resistencia mínima al fluido de la tubería, se utiliza totalmente abierta o cerrada. Acondicionamiento poco frecuente.

*Válvulas de Macho:* cierre hermético. Deben estar abiertas o cerradas del todo.

*Válvulas de Bola:* No hay obstrucción al flujo. Se utilizan para líquidos viscosos y pastas aguada, cierre positivo. Se utiliza totalmente abierta o cerrada.

*Válvulas de Mariposa:* su uso principal es para cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión. Su diseño de disco abierto, rectilíneo evita cualquier acumulación de sólidos, la caída de presión es muy pequeña.

*Válvulas de Globo:* son para uso poco frecuente. Cierre positivo. El asiento suele estar paralelo con el asiento del flujo; produce resistencia y caídas de presión considerables (Fisher, 1977).

### *3.5.2. Válvulas de Operación Manual.*

Las válvulas de operación manual, se emplean por lo general para dos funciones básicas: cierre y estrangulación. En esencia cualquier válvula que no esta abierta del todo ni cerrada del todo durante el funcionamiento de la planta, se puede considerar como válvula de cierre. Estas suelen ser del tamaño de la tubería y tienen un orificio más o menos del tamaño del diámetro interior del tubo.

Para calcular la caída de presión de una válvula de bloqueo, el procedimiento usual es utilizar una longitud equivalente de tubo, según lo especifique el fabricante.

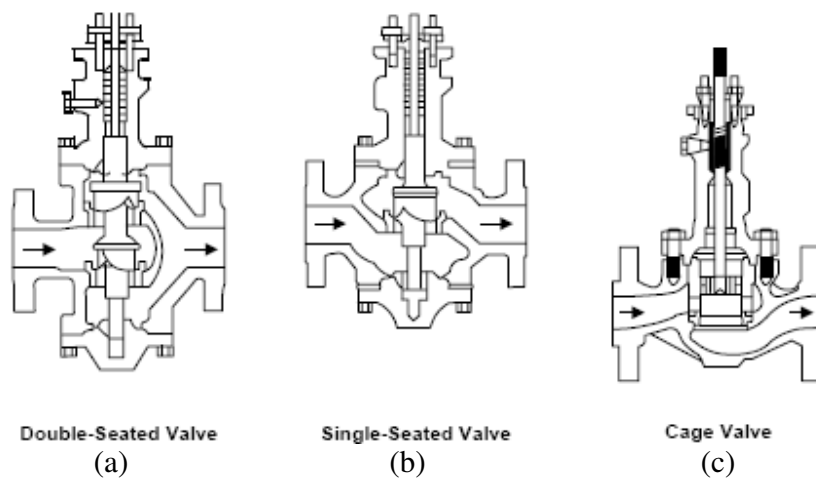
Las válvulas de operación manual cuya finalidad es regular el flujo, la presión o ambos, se denominan válvulas de estrangulación. La selección del tamaño de una válvula de

estrangulación dependerá del coeficiente  $C_v$  de flujo en la válvula. La capacidad se determina con pruebas de flujo para una caída dada de presión y se puede obtener con los fabricantes.

### 3.5.3. Válvulas de Control en Plantas de Procesos.

Las válvulas de control son el regulador básico en cualquier proceso en que se manejen corrientes de fluidos. El tipo más común de válvula de control es la *válvula de globo*. Se emplea un actuador en lugar de un volante para mover el vástago y el macho para abrir y cerrar la válvula. El actuador usualmente es neumático con una cubierta que tiene un diafragma que la divide en dos compartimientos: el diafragma y el vástago, los cuales conectados con el actuador están en posición equilibrada por un resorte en un lado y aire a presión por el otro. En control de flujo, la presión del aire cambia como una respuesta a la señal proveniente de la medición de la presión diferencial en un orificio u otro aparato detector de flujo.

La válvula de control de un solo orificio se utiliza cuando se necesita cierre hermético además del control de flujo. La válvula de control de orificio doble tiene dos anillos de asiento y dos machos en un vástago común. Es de mayor capacidad que una con asiento sencillo del mismo tamaño. Con anillos de asientos duros y a altas temperaturas la válvula de asiento doble no proporciona un cierre hermético.



**Figura 6** Figura 3.6. Tipos de Válvulas de Control. (a) Válvula de control de doble asiento, (b) Válvula de control de asiento sencillo, (c) Válvula de control tipo jaula.

### Características de los Machos de las Válvulas.

El macho de la válvula puede ser de disco, configurado macizo o con orificios. Las características o control de flujo dependen de la configuración o cavidades en el macho. Los tres tipos de macho y sus características de flujo son:

*Flujo lineal:* Un macho tiene flujo lineal cuando el caudal que pasa por la válvula es proporcional a la elevación.

*Porcentaje igual:* un macho es de porcentaje igual si, en cualquier posición, ocurre el mismo porcentaje de cambio en el caudal con la misma cantidad de movimiento del macho. El porcentaje de cambio está relacionado con el caudal justo antes de mover el macho.

*Apertura rápida:* para cierre o apertura total se utilizan machos de discos sencillos (para altas temperaturas) o de discos dobles (para bajas temperaturas). El macho de disco tiene flujo lineal y movimiento corto del vástago.

Para el control de nivel de un líquido se suele especificar un macho de flujo lineal. El de porcentaje igual se utiliza para control de presión o de flujo o solo cuando se dispone de un pequeño porcentaje de la presión diferencial total o cuando varía mucho la caída de presión en la válvula de control.

Los actuadores (llamados también operadores y posicionadores) levantan al vástago y al macho del asiento o mueven al macho en el cilindro del asiento. Las válvulas de mariposa o de bola tienen actuadores de montaje lateral por que el vástago del actuador hace girar el eje de la válvula. Hay actuadores hidráulicos, mecánicos, y de pistón (Fisher, 1977).

#### 3.5.4. Coeficiente de capacidad de válvulas.

El coeficiente  $C_v$ , de flujo en la válvula depende de las dimensiones internas y de la tersura de las superficies de la válvula. Los fabricantes dan la siguiente definición.

$$C_v = Q \left( \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{\Delta P}} \right) \quad (3.14)$$

Donde:

$Q$  : Caudal ó flujo volumétrico, gpm ( $m^3/s$ ).

$S$  : Gravedad específica, adimensional.

$\Delta P$  : Delta de presión, psi (Pa).

$C_v$  : Coeficiente de flujo ó índice de capacidad que señala el caudal de agua a 60 °F, en gpm, que pasaran por la válvula totalmente abierta, con una diferencia de presión de 1 psi entre las bridas de entrada y salida, es decir que si  $S=1$  y  $\Delta P=1$  entonces,  $C_v=Q$ .

Coeficiente  $C_{vc}$  calculado de flujo. Al determinar el tamaño de las válvulas de control, se calcula un coeficiente de flujo con caudal normal en gpm, con

$$C_{vc} = Q \left( \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{\Delta P}} \right) \quad (3.15)$$

Entonces se selección una válvula cuyo índice de capacidad,  $C_v$ , es mayor que  $C_{vc}$ . Para un buen intervalo de control, el índice de capacidad debe ser 1.25 a 2 veces mayor que el coeficiente calculado de flujo, o sea:

$$0.5 \leq \frac{C_{vc}}{C_v} \leq 0.8 \quad (3.16)$$

Esta es una gama óptima para machos lineales y configurados para porcentaje.

### 3.5.5. Factor $C_f$ de Flujo Crítico.

El factor  $C_f$  para flujo crítico es un número sin dimensiones que depende del tipo de válvula.  $C_f$  es la relación entre el coeficiente de la válvula de control en condiciones críticas y el coeficiente de flujo publicado por los fabricantes.

Para los líquidos el flujo se puede considerar sub-crítico si la presión de vapor no es más alta que el punto de mínima presión en la válvula. La presión de vapor es la presión a la cual se empieza a evaporar un líquido a su temperatura de flujo. Si la presión de vapor esta entre las gamas A y B (Fig. 5 pagina 153 Richard W. Greene, 1992) ocurrirán vaporización o cavitación en la válvula de control. Si la presión de vapor esta cerca de la presión  $P_2$  de corriente abajo, se puede sospechar que hay cavitación, esta puede producir desgaste rápido del macho y asiento, así como vibración y ruido. Si la presión de vapor se encuentra entre las presiones  $P_1$ , corriente arriba, y  $P_2$ , corriente abajo, puede ocurrir vaporización. En este caso habrá flujo de doble fase en la tubería después de la válvula de control. Si la presión de vapor es mayor que la presión  $P_1$  de entrada, la válvula tiene flujo en dos fases y habrá que tener en cuenta la vaporización adicional de la válvula. Para esta condición, el diámetro del tubo de corriente abajo será mayor que el de corriente arriba (Fisher, 1977).

Los criterios para los flujos sub-críticos y críticos de los líquidos son respectivamente:

$$\Delta P \leq C_f^2 (\Delta P_s) \quad (3.17)$$

$$\Delta P \geq C_f^2 (\Delta P_s) \quad (3.18)$$

$$\text{En donde } \Delta P_s = P_1 - \left( 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_1}{P_c}} \right) P_v \quad (3.19)$$

$P_c$  : Presión crítica, psia (Pa).

$P_v$  : Presión de vapor, psia (Pa).

La fórmula para determinar el tamaño con flujo crítico es:

$$C_{vc} = \left( \frac{Q}{C_f} \right) \left( \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{\Delta P_s}} \right) \quad (3.20)$$

Un ejemplo de flujo sub-crítico es el que ocurre en una válvula de control en la tubería de descarga de una bomba centrífuga. El flujo crítico puede ocurrir en una válvula cuando el líquido corriente arriba está cerca del punto de ebullición.

Para gases se supone que hay flujo crítico cuando la velocidad del gas se aproxima a la del sonido:

$$V_s = 68 \sqrt{K \left( \frac{P'}{\rho} \right)} \quad (3.21)$$

Se debe evitar la velocidad sónica por que puede ocasionar ruido y vibración.

Los criterios para flujos sub-críticos y críticos de los gases son, respectivamente:

$$\Delta P \leq 0.5 C_f^2 P_1 \quad (3.22)$$

$$\Delta P \geq 0.5 C_f^2 P_1 \quad (3.23)$$

El flujo crítico se puede evitar con:

- La reducción de la caída de presión en la válvula.
- Con el cambio de lugar de la válvula en la tubería
- Con la selección de una válvula con el valor  $C_f$  mas alto.

### 3.5.6. Servicio con Líquidos.

#### *Flujo sub-crítico:*

Para un líquido a temperatura mucho menor a la de saturación que está en la zona de turbulencia, con viscosidad cercana a la del agua y los tamaños del tubo y la válvula son idénticos, el coeficiente calculado para la válvula de control se calcula usando la Ecuación (3.15).

Para caída mínima de presión con el macho abierto del todo,  $C_v$  sustituye a  $C_{vc}$ .

$$\Delta P_{(\min)} = \left( \frac{Q}{C_v} \right)^2 S \quad (3.24)$$

Si lo que interesa es la caída de presión con una posición selecciona del macho entre  $0.5 \leq \frac{C_{vc}}{C_v} \leq 0.8$ , una expresión adecuada es:

$$\Delta P = \left[ \frac{Q}{(C_{vc}/C_v)C_v} \right]^2 S \quad (3.25)$$

En donde  $C_v$  se toma del catálogo del fabricante y  $C_{vc}/C_v$  es la posición seleccionada del macho.

El coeficiente calculado de flujo para flujo laminar o viscoso es:

$$C_{vc} = 0.0723 \sqrt[3]{\left(\frac{\mu Q}{\Delta P}\right)^2} \quad (3.26)$$

#### *Flujo crítico:*

Si la válvula y la tubería son del mismo tamaño, el coeficiente simplificado para la válvula de control se vuelve:

$$C_{vc} = \left(\frac{Q}{C_f}\right) \left(\frac{\sqrt{S}}{\sqrt{P_1 - P_v}}\right) \quad (3.27)$$

Siempre y cuando  $P_v \leq 0.5P_1$

#### *3.5.7. Condiciones de Funcionamiento.*

Las válvulas de control suelen ser del mismo o un tamaño menor que el tubo de corriente arriba, pero nunca más grande. Las válvulas de control son de menor tamaño que el tubo cuando hay que adsorber grandes diferencias de presión.

Las válvulas de control pueden funcionar en una amplia gama de capacidades y presiones diferenciales. Los volúmenes de flujo y condiciones del proceso suelen estar bien determinados para establecer el tamaño de la tubería y componentes.

Al determinar el tamaño de las válvulas se debe:

- Estudiar las capacidades opcionales.
- Cambio periódico en la capacidad.
- Presiones diferenciales relacionadas.

Cuando se determinan una presión diferencial total, por ejemplo entre dos recipientes, la tercera parte de la caída de presión se puede atribuir a la válvula de control y 2/3 a la pérdida por fricción en la tubería y el equipo. Cuando hay que minimizar las presiones diferenciales, la válvula debe ser del mismo tamaño de la tubería.

Las válvulas de mariposa funcionan con muy poca caída de presión (1/10 psi) y suelen ser adecuadas en tuberías de descarga de compresoras y de alimentación de aguas de enfriamiento.

Una válvula de control solo puede controlar el flujo si logra controlar la caída de presión en el sistema. (Fisher, 1977).

### *3.5.8. Derivación para la Válvula de Control.*

Se suele utilizar una derivación (bypass) para válvulas menores de 2" en servicios con materiales tóxicos o de alta viscosidad, manejo de líquidos con sólidos abrasivos, para alimentación de agua a calderas y en servicio de reducción de presiones altas (más de 100 psi) del vapor de agua.

Para que concuerden con el diseño de la tubería, el coeficiente de flujo de la válvula de derivación debe ser mas o menos el mismo que el de la válvula de control.

### *3.5.9. Posición de la Válvula de Control.*

La menor posición para las válvulas es con el vástago vertical hacia arriba. Una sola válvula de control sin válvulas de cierre ni de derivación suele bastar para líquidos limpios.

### *3.5.10. Requisitos de Seguridad*

Una preocupación del diseñador es seleccionar válvulas con protección contra fallas, si hay problemas con el aire para instrumentos. En principio, una válvula falla sin peligro si la temperatura y la presión del proceso no aumentan una vez que dejó de funcionar la válvula. Por lo general, el diseñador de un sistema debe consultar con los ingenieros de proceso, de instrumentos y de equipos para decidir las posiciones de falla sin peligro de las válvulas de control. (Fisher, 1977).

## **3.6. ANALISIS BENEFICIO COSTO DE UN SOLO PROYECTO.**

### *3.6.1. Factor de Pago Único.*

El factor fundamental de ingeniería económica es el que determina la cantidad de dinero  $F$  que se acumula después de  $n$  años (o periodos), a partir de un valor único presente  $P$  con interés compuesto una vez por año (o por periodo). Por consiguiente si una cantidad  $P$  se invierte en algún momento  $t = 0$ , la cantidad de dinero  $F_1$  que se habrá acumulado en "n" años a partir del momento de la inversión a una tasa de interés de  $i$  por ciento anual será:

$$F_1 = P(1 + i)^n \quad (3.28)$$

Donde la tasa de interés se expresa en forma decimal y  $n$  es la cantidad de años o periodos de tiempo.

### *3.6.2. Calculo de Tasas de Interés Desconocidas.*

En algunos casos, se conoce la cantidad de dinero depositado y la cantidad de dinero recibido luego de un número especificado de años, pero se desconoce la tasa de interés o la tasa de rendimiento. Cuando hay involucrados una cantidad única, una serie uniforme, o un gradiente convencional uniforme, la tasa desconocida puede determinarse para  $i$  por una

solución directa de la ecuación de valor del dinero en el tiempo. Sin embargo, cuando hay pagos no uniformes o muchos factores, el problema debe resolverse empleado un método de ensayo y error o un método numérico.

### 3.6.3. *Análisis Beneficio Costo.*

**Costos:** Es la estimación de gastos para la construcción, operación y mantenimiento del proyecto, menos cualquier valor de salvamento.

**Beneficios:** Ventajas que experimentará el propietario de proyecto.

**Contra beneficios:** Desventajas para el propietario del proyecto cuando este se lleve a cabo. Los contra beneficios pueden consistir en desventajas económicas indirectas de la alternativa.

Todos los cálculos de costo beneficios deberán convertirse a una unidad monetaria de equivalencia común (Valor presente, valor anual o valor futuro) a la tasa de descuento (tasa de interés) la razón convencional B/C se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{B}{C} = \frac{VP_{beneficios}}{VP_{costos}} = \frac{VA_{beneficios}}{VA_{costos}} = \frac{VF_{beneficios}}{VF_{costos}} \quad (3.29)$$

Las equivalencias para el valor presente y valor anual se utilizan más que las del valor futuro. La convención de signos para el análisis B/C consiste en signos positivos. Cuando se calculan los valores de salvamento, se deducen de los costos. Los contra beneficios se consideran de diferentes maneras, dependiendo del modo que se utilice. Más comúnmente, los contra beneficios se restan de los beneficios y se colocan el numerador.

La directriz para la toma de decisión es de la siguiente manera:

- Si  $B/C \geq 1.0$ , se determina que el proyecto es económicamente aceptable para los estimados y la tasa de descuento aplicada.
- Si  $B/C \leq 1.0$ , el proyecto no es económicamente aceptable.

Si el valor  $B/C$  es igual o esta muy cerca de 1.0, los factores no económicos ayudarán a tomar la decisión de la mejor alternativa. La razón B/C convencional que incluye el contra beneficio, se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{B}{C} = \frac{Beneficios - Contrabeneficios}{costos} = \frac{B - CB}{C} \quad (3.30)$$

En la ecuación anterior, los contra beneficios se restan de los beneficios y no se agregan a los costos. El valor de B/C variaría de manera considerable si los contra beneficios se consideraran como costos.



La razón B/C modificada incluye los costos de mantenimiento y operación (M&O) en el numerador y se trata de forma similar a los contra beneficios. El denominador solamente incluye los costos de inversión inicial. Una vez que todas las cantidades se expresan en términos de VP, VA o VF, la razón B/C modificada se calcula de la siguiente manera:

$$B/C_{\text{modificada}} = \frac{B - CB - CMO}{C} \quad (3.31)$$

Cualquier valor de salvamento esta incluido en el denominador como costo negativo. En efecto, la razón B/C modificada producirá un valor diferente que el que produce el método B/C convencional.

## **IV. METODOLOGIA.**

Para la realización de este proyecto se realizó primeramente la selección y el cálculo de las variables de diseño, luego una evaluación tecnológica, posteriormente un diseño de tecnológico y finalmente un análisis económico mediante la relación Beneficio Costo.

### ***4.1. CÁLCULOS DE LAS VARIABLES DE DISEÑO.***

El proyecto de automatización del sistema de mezclado conllevó la realización de varios cálculos. Estos cálculos incluyen determinar la caída de presión en tuberías con servicio de líquidos transportados no mediante una bomba, sino por diferencial de presión, re-dimensionamiento de tuberías y cálculos de diseño para válvulas de control y medidores de flujos.

Para realizar todos los cálculos antes mencionados y poder automatizar el sistema de mezclado de gasolinas, la compañía Esso Standard Oil S.A., tiene como requisito que para realizar diseños de equipos ó evaluaciones de equipos y tuberías dentro de sus instalaciones, se deben utilizar las prácticas de diseño EMRE<sup>18</sup>, GP's<sup>19</sup>, DP's<sup>20</sup>, IP's<sup>21</sup> y manuales aplicables API<sup>22</sup>. Además, se debe utilizar la herramienta de diseño y evaluación de equipos propias de Esso Standard Oil. La herramienta que se utilizó para realizar todos los cálculos de caídas de presión del sistema de tubería, el re-dimensionamiento de tuberías, diseño de válvulas de control y medidores de flujo es PEGASYS 6.01e. Mediante las aplicaciones QUEST/DISTEX, *Pressure Drop*, *Control Valve Sizing* y *Flow Meters* que se encuentran dentro de PEGASYS 6.01e. Todas las ecuaciones necesarias para el cálculo de la caída de presión, dimensionamiento de tuberías, diseño de válvulas de control y medidores de flujo; mencionadas en las secciones 3.3, 3.4, 3.5 del marco teórico, están incluidas dentro de PEGASYS 6.01e. Los resultados, características y funciones que ofrece este programa y sus aplicaciones son descritos en el *Apéndice B*.

La realización de cada uno de estos cálculos requirió determinar las variables de diseño necesarias para realizar la automatización de sistema de mezclado. Las variables de diseño utilizadas fueron:

- Las composiciones y calidades (RON y RVP) para el butano, el reformado pesado, el reformado ligero y nafta ligera virgen.
- Las presiones y temperaturas reales para las tuberías de butano, reformado pesado, reformado ligero y nafta ligera virgen.
- Los caudales mínimos, promedios y máximos de cada una las corrientes.

---

<sup>18</sup> ExxonMobil Engineering & Research.

<sup>19</sup> Global Practices.

<sup>20</sup> Design Practices.

<sup>21</sup> International Practices.

<sup>22</sup> American Petroleum Institute.

Para obtener las composiciones y calidades (RON y RVP) de las cuatro corrientes se recabó toda la información disponible para el año 2005 (Enero-Diciembre). Se recolectó la información mediante el registro de análisis del laboratorio para las muestras de butano (#29), reformado pesado (#14), reformado ligero (#13) y nafta ligera virgen (#7). Así mismo, se recabó información de las calidades de las mezclas de gasolina Premium a tanque (#41) y mezcla de gasolina Regular a tanque (#40). Con esta información se realizó un análisis estadístico, con el objetivo de determinar composiciones representativas de cada una de las cuatro corrientes de mezcla. Posteriormente, se realizó la creación de las corrientes de butano, reformado pesado, reformado ligero y nafta ligera virgen dentro de PEGASYS 6.01e. Donde se podrá disponer de ellas para realizar todos los cálculos de evaluación tecnológica y diseño tecnológico. Por otra parte, las calidades promedios de las corrientes se utilizaron para determinar los flujos volumétricos de las corrientes necesarios para cumplir con las especificaciones de RON y RVP en el producto final (gasolinas Premium y Regular).

Los valores de presión y temperatura fueron determinados a través del muestreo de estas variables por cada sección de tuberías, tres veces al día por un periodo de dos semanas (tercera y cuarta semana de Agosto 2006) con manómetros y termómetros locales. Los datos de presión y temperaturas para torres de destilación y algunos intercambiadores de calor fueron obtenidos a través de las hojas de datos técnicos de dichos equipos ó a través de simulaciones de planta. Se realizó un promedio aritmético de los datos recolectados los cuales fueron necesarios para determinar las condiciones de operación de cada corriente dentro del sistema de mezclado, determinar en que fase se encuentra cada corriente y sus propiedades físicas y químicas.

Los datos de caudales para cada corriente (Butano, HPF, LPF, LVN) enviada al sistema de mezclado, fueron recolectados mediante los registros del departamento de procesos (Enero-Diciembre 2005). Con estos datos se realizó un análisis estadístico para determinar los caudales mínimos promedios y máximos de cada corriente de mezcla. Posteriormente, se realizó el cálculo de los caudales necesarios para cumplir con la especificación de RON y RVP en ambas gasolinas.

Es importante recalcar que todo el trabajo de recopilación de la información y análisis estadístico fue útil para toda la parte técnica del proyecto de automatización de sistema de mezclado. Tanto para la parte de la evaluación del sistema actual de tuberías como para el diseño tecnológico.

#### **4.2. EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA ACTUAL DE TUBERÍAS.**

A través de la evaluación tecnológica se realizó la evaluación del sistema actual de tuberías, en donde se llevan a cabo las mezclas de las cuatro corrientes básicas en la producción de gasolina Premium y Regular. La evaluación tecnológica en el sistema de tuberías; incluye cálculos de caídas de presión. Para las tuberías del sistema de mezclado se debe cumplir que la máxima caída de presión permitida sea 0.40 psi por cada 100 pies de tubería, considerando cualquier elevación dentro del sistema (*Tabla A.1 Apéndice A*). Para realizar la evaluación del sistema actual de tuberías, se realizó primeramente una evaluación

cualitativa, la cual consistió en realizar una inspección al estado del sistema de tuberías e instrumentación para la medición y control de flujos. Así mismo, determinar si era necesario realizar expansiones de tuberías, verificar la existencia de algunas válvulas de control ya instaladas en el sistema de mezclado y ubicar donde se requería la instalación de nueva instrumentación. Posteriormente, se realizó una evaluación cuantitativa de todo el sistema de tuberías mediante el uso de PEGASYS 6.01e.

El procedimiento con el cual se llevó a cabo el estudio de evaluación del sistema actual de tuberías, conllevó los pasos siguientes:

- Se realizaron los cálculos de las variables de diseño, tal y como fueron descritos en la sección 4.1.
- Luego se realizó una verificación en el campo de la configuración actual del sistema de tuberías y del sistema de control de flujos para la producción de gasolina Premium y Regular.
- Se estudió todo el sistema de mezclado para la producción de gasolinas, esto incluyó la adquisición de los conocimientos acerca de la secuencia de mezclado de las corrientes, cómo y cuándo se monitorean las calidades de las corrientes, así como identificar la instrumentación y válvulas con las que realizan las mezclas.
- Se elaboró un plano simplificado del sistema de mezclado actual, para efectuar las mezclas de las cuatro corrientes básicas en la producción de gasolinas, el cual se encuentra en el *Apéndice E*.
- Se elaboraron los planos de instrumentación y tuberías (P&ID por sus siglas en inglés) del sistema actual de tuberías. Estos planos fueron la base para determinar el re-diseño en la configuración y capacidades de tuberías, ubicación de instrumentación y controladores de flujo, diseño e instalación de nuevos equipos de control, selección de materiales, establecer condiciones de operación. Todos los planos se elaboraron utilizando AUTOCAD 2005.
- Se dividió todo el sistema de tuberías en cuatro secciones: sección de tuberías para la corriente de butano; sección de tuberías para la corriente de HPF; sección de tuberías para la corriente de LPF y sección de tuberías para la corriente de LVN. Esto con el objetivo de calcular la caída de presión de cada sistema por separado.
- Una vez que se obtuvieron todos los datos requeridos se procedió a realizar la evaluación del sistema de tubería mediante PEGASYS 6.01e. para cumplir con el requisito de realizar las evaluaciones de tuberías y equipos a través de esta aplicación.
- Los resultados obtenidos con PEGASYS 6.01e se analizaron para determinar si el sistema actual de tuberías es el adecuado o requiere de la re-configuración de las tuberías.

#### **4.3. DISEÑO TECNOLÓGICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE MEZCLADO.**

A través del diseño tecnológico se realizaron los cálculos de diseño para la re-configuración de la sección de tuberías para el butano, el diseño de las válvulas de control de flujo y presión, así como el diseño de los medidores de flujo asociados a cada válvula de control de flujo. Todo esto con el propósito de realizar la automatización del sistema de mezclado. Al igual que en la evaluación tecnológica, para realizar el diseño tecnológico, primeramente se realizó una evaluación cualitativa, la cual consistió en analizar y elegir en cual de las corrientes se requería la instalación de nueva instrumentación de medición y control de flujos para realizar la automatización del sistema de mezclado; basados en las características de cada corriente, su influencia sobre las especificaciones de RON y RVP, además de la inspección realizada al sistema de mezclado en la evaluación tecnológica. Una vez seleccionadas las corrientes que requerían medición y control de flujo, así como la re-configuración de las tuberías; se realizó una evaluación cuantitativa en donde se determinó el tipo de válvula de control necesaria para cada corriente, el tamaño de cada válvula de control, sus rangos de operación y el tipo de medidor de flujo asociado a cada válvula mediante el uso de PEGASYS 6.01e.

El procedimiento con el cual se llevó a cabo el diseño tecnológico del sistema de mezclado, conllevó los pasos siguientes:

- Se realizó una evaluación cualitativa del sistema de mezclado actual, para seleccionar las corrientes que afectan la especificación de RON y RVP en donde se reemplazaran las válvulas de control manual por válvulas de control automático y se instalaran los medidores de flujos.
- Se realizó la evaluación cuantitativa utilizando los cálculos de las variables de diseño, los cuales fueron composiciones y calidades de las corrientes de mezcla, presiones y temperaturas del sistema de mezclado, los flujos volumétricos y cálculos de caídas de presión.
- Se realizaron todos los cálculos de diseño para válvulas de control e instrumentación de medición de flujos mediante PEGASYS 6.01e. (*Apéndice C*) como requisito para realizar los diseños de cualquier equipo que se vaya a instalar en Refinería Managua Esso Standard Oil S.A.
- Una vez concluidos los cálculos de diseño del sistema de tuberías y dimensionadas las válvulas de control e instrumentación para la automatización del sistema de mezclado. Se procedió elaborar los planos de instrumentación y tubería (*P&ID*) conforme a los requerimientos del nuevo proyecto. Además, se elaboraron los planos isométricos para las válvulas de control, los medidores de flujo y las tuberías nuevas que se van a instalar en el campo una vez aprobado el proyecto.

- Posteriormente, se elaboraron las hojas de datos técnicos de los equipos nuevos que se diseñaron para el proyecto de automatización del sistema de mezclado (*Apéndice C*). Se utilizó un formato de hoja de datos técnicos propios de refinería Managua. Luego de la parte técnica se procedió a realizar los cálculos económicos para la aprobación del proyecto.

#### **4.4. ANÁLISIS ECONÓMICO MEDIANTE LA RELACIÓN BENEFICIO COSTO.**

La aprobación del proyecto de automatización del sistema de mezclado, requirió la realización de un análisis económico para determinar el alcance de la inversión y los beneficios que este proyecto conlleva. Para esto, se realizó un análisis de relación Beneficio Costo.

El procedimiento que se llevó a cabo para realizar el análisis económico mediante la relación Beneficio Costo, conllevó los pasos siguientes:

- Los beneficios económicos del proyecto fueron determinados en base al dinero que se esta dejando de percibir debido a los regalos de calidades en las gasolinas Premium y Regular. Las calidades que deben cumplir las gasolinas son números de octanos (RON) y presión de vapor (RVP). Para la gasolina Premium se requiere un mínimo de 95 números de octanos y máximo 10 psia de presión de vapor. Para el caso de gasolina Regular se requiere un mínimo de 87 números de octanos y máximo 10 psia de presión de vapor. Un incremento en el numero de octanos para cualquier de las gasolinas representa un regalo de calidad que trae consigo costo monetario. Por otro lado una disminución de la presión de vapor representa un regalo de calidad, ya que no se le está adicionando la cantidad suficiente de productos ligeros (de menor valor económico) a las gasolinas.
- Se recolectó la información de las cantidades y calidades de las gasolinas Premium y Regular certificadas para venta durante todo el año 2005 (*Figuras desde D.1 hasta D.6 del Apéndice D*). Posteriormente, se realizó un cálculo estadístico para determinar el volumen de ventas promedio para cada gasolina. Se determinó la desviación de RON y RVP con respecto al objetivo que tuvieron las gasolinas Premium y Regular durante el 2005. Después, se determinó cuánto era la cantidad de dinero que representó para la compañía las desviaciones de los objetivos de RON y RVP con el costo de producción de gasolinas con mayor número de octanos y con los costos que representa no agregar productos ligeros a las gasolinas. La información de precios fue proporcionada por el departamento de logística.
- Una vez calculados los beneficios que no se percibieron en el 2005 debido a regalos de calidad se procedió a transformar las sumas de dinero del 2005 a sumas de dinero en tiempo presente (Dic 2006). Para esto se utilizó la *Ecuación 3.28* del marco teórico. El cálculo de la *i* fue determinado a través del aumento en los precios del crudo durante los años 2003-2006 (*Figura D.7 del Apéndice D*).

- Para la determinación de los costos se solicitaron las cotizaciones para las válvulas de control, instrumentación de flujos, tuberías, servicios de soldaduras, instalación, etc., a los suplidores autorizados por Refinería Esso Standard Oil S.A., con los cuales existen contratos y acuerdos a través del departamento de compras. Posteriormente se seleccionaron las ofertas que mejor se adaptaron a las necesidades de la *Refinería Managua (listado de materiales y costos del proyecto, Apéndice D)*.
- Una vez que se tenían los beneficios y los costos del proyecto se procedió a utilizar la Ecuación 3.29 del marco teórico, y posteriormente se comparó el resultado con las guías de aceptación o rechazo del proyecto estipuladas en la sección 3.6 del marco teórico.

Es importante recalcar que para la determinación de los beneficios no se tomó en cuenta, el aporte a los beneficios que representa no tener que reprocesar los productos que se encuentran fuera de especificación. Esto se debe a que el reproceso de producto fuera de especificación es muy remoto y en la mayoría de los casos los tanques pueden ser corregidos mediante la adición de producto terminado con buena especificación. Sin embargo, si se han reportado casos en los que el reproceso de una tanque de gasolina ha sido necesario. No obstante, para realizar la determinación del beneficio que significa no reprocesar un tanque, es necesario calcular la energía invertida en el reproceso a través de varios intercambiadores de calor, lo cual esta fuera del ámbito de este trabajo y solamente aumentaría más la magnitud de la relación Beneficio Costo.

## V. RESULTADOS.

### 5.1. CÁLCULO DE LAS VARIABLES DE DISEÑO.

Para realizar todos los cálculos en la evaluación del sistema de tuberías y para diseñar los equipos de medición y control de flujos, se determinaron todas las variables de diseños. En el caso de la parte técnica del proyecto se determinaron las propiedades físicas y químicas de cada corriente del proceso de mezclado, es decir, sus composiciones y calidades; presiones y temperaturas; y además los flujos volumétricos. Por último, se calcularon los flujos necesarios de HPF y butano para cumplir con la especificación de RON y RVP para cada gasolina.

#### 5.1.1. Determinación de las propiedades físicas y químicas para el Butano, HPF, LPF y LVN.

Todas las propiedades físicas y químicas de las corrientes de interés para la realización de este proyecto fueron determinadas mediante la aplicación QUEST/DISTEX de PEGASYS 6.01e. (Apéndice B) Los datos introducidos en la aplicación son los siguientes:

##### Para la corriente de Butano.

Se recolectaron las muestras de cromatografía de gases de los tanques de butano (muestra #29 de laboratorio) y se realizó un promedio aritmético (Enero 2005 – Diciembre 2005) para cada uno de los componentes de la muestras. Se obtuvieron los resultados presentados a continuación, los cuales son los datos necesarios para crear una corriente de componentes en la aplicación de QUEST/DISTEX.

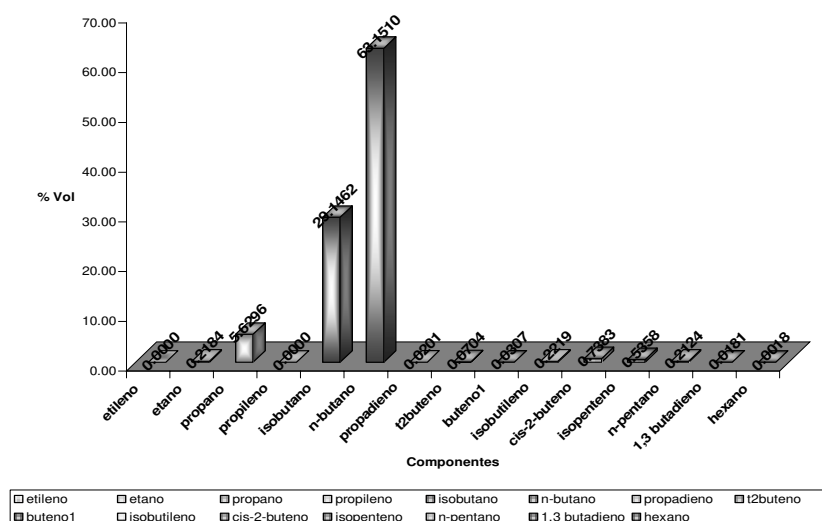


Figura 7Figura 5.1. Cromatografía de Gases de Butano.



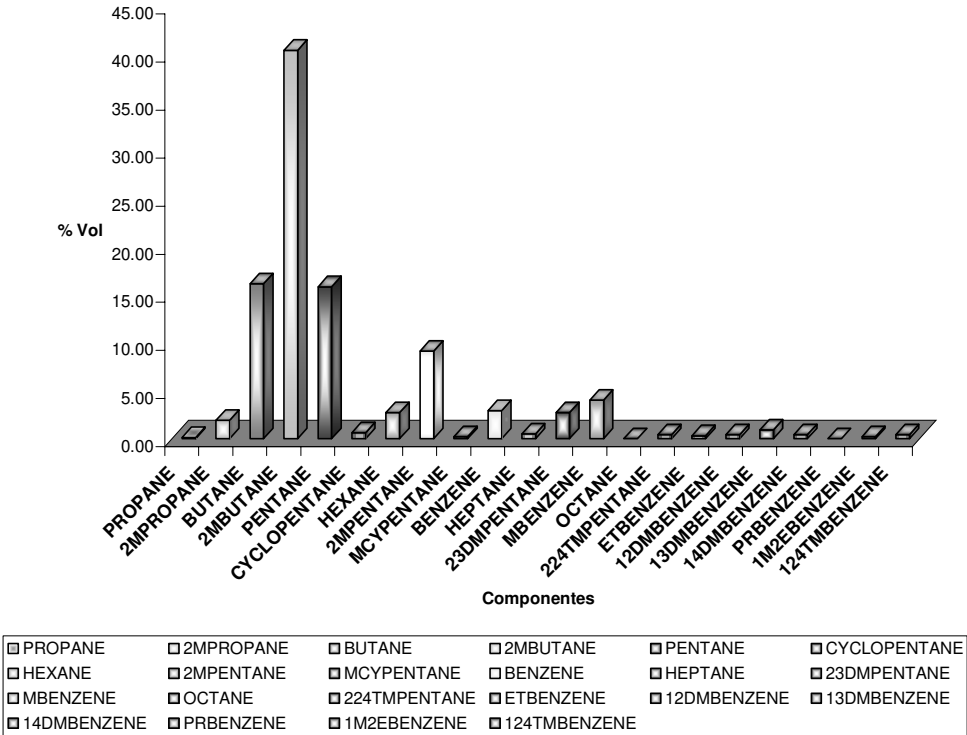
Una vez creada la corriente de Butano en la aplicación de QUEST/DISTEX se obtuvieron los siguientes resultados de las propiedades físicas y químicas del butano:

**Tabla 2***Tabla 5.1. Propiedades Físicas y Químicas de Butano.*

Peso Molecular	57.21	lb/lbmol
Entalpía	-1073.3	BTU/lb
Densidad	33.65	lb/Ft <sup>3</sup>
Gravedad Específica	0.5741	@STP
Compresibilidad	0.0675	Z
Capacidad Calorífica	0.035	BTU/lb.F
Viscosidad Dinámica	0.1325	cP
Viscosidad Cinemática	0.2458	cSt
Conductividad Térmica	0.0556	BTU/h.Ft.F

**Para la corriente de LPF:**

Los datos de los componentes de la corriente de LPF fueron determinados a través de simulaciones de la torre estabilizadora de reformado T-106, realizadas por el *Ing. Contacto de Procesos* durante las pruebas de plantas. Estos datos fueron introducidos en la aplicación QUEST/DISTEX para realizar los cálculos de diseño. Los resultados obtenidos son los siguientes:



**Figura 8***Figura 5.2. Composición de la corriente de LPF.*

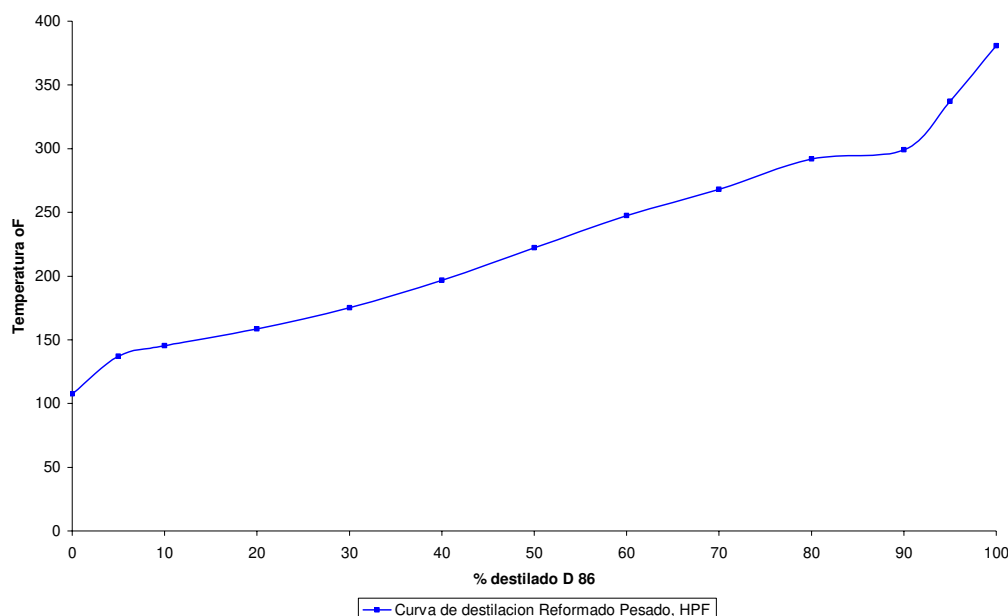
Una vez creada la corriente de LPF en la aplicación de QUEST/DISTEX se obtuvieron los siguientes resultados de las propiedades físicas y químicas del LPF:

**Tabla 3** *Tabla 5.2. Propiedades Físicas y Químicas de LPF.*

Peso Molecular	74.27	lb/lbmol
Entalpía	-896.2	BTU/lb
Densidad	38.84	lb/Ft <sup>3</sup>
Gravedad Específica	0.6499	@STP
Compresibilidad	0.0532	Z
Capacidad Calorífica	0.041	BTU/lb.F
Viscosidad Dinámica	0.2026	cP
Viscosidad Cinemática	0.3256	cSt
Conductividad Térmica	0.0615	BTU/h.Ft.F

### **Para la corriente de HPF.**

Para la corriente HPF se realizó un promedio aritmético de las muestras de destilación (año 2005) para la corriente de fondo de la torre estabilizadora de reformado T-106, HPF (muestra #14 de laboratorio). Para determinar una destilación representativa de cada una de las corrientes. Se obtuvieron los resultados presentados a continuación, los cuales son los datos necesarios para crear una corriente de destilación y los pseudos-componentes en la aplicación de QUEST/DISTEX.



**Figura 9** *Figura 5.3. Curva de destilación de corriente de HPF.*

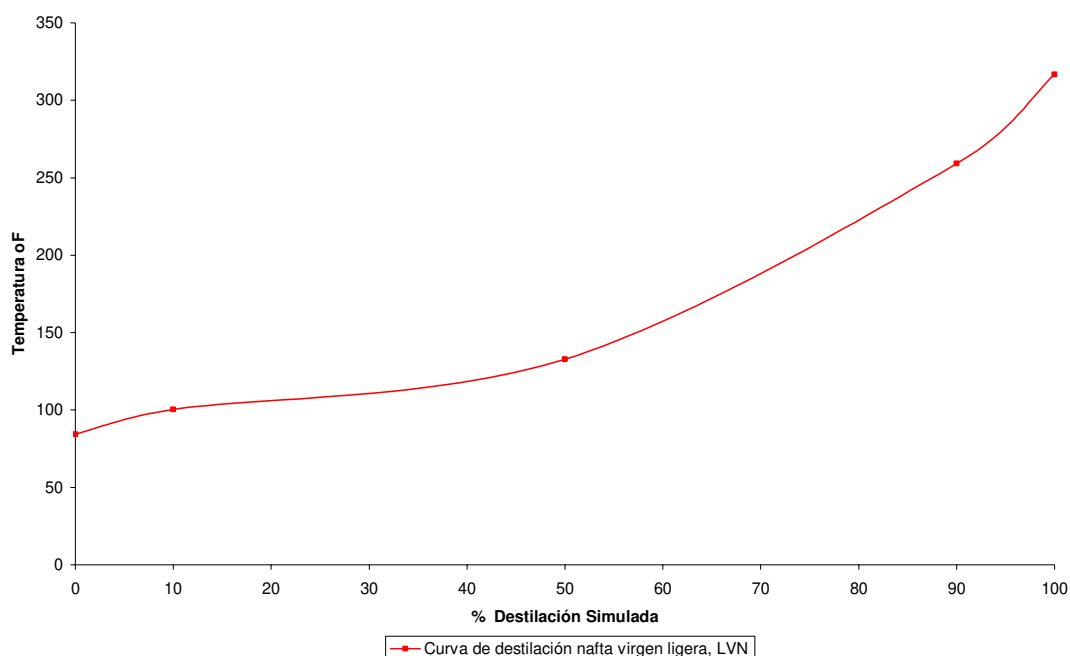
Una vez creada la corriente de HPF (mediante pseudos-componentes) en la aplicación de QUEST/DISTEX se obtuvieron los siguientes resultados sus propiedades físicas y químicas:

**Tabla 4** *Tabla 5.3. Propiedades Físicas y Químicas de HPF.*

Peso Molecular	96.87	lb/lbmol
Entalpía	-573.9	BTU/lb
Densidad	45.34	lb/Ft <sup>3</sup>
Gravedad Específica	0.7519	@STP
Compresibilidad	0.045	Z
Capacidad Calorífica	0.0491	BTU/lb.F
Viscosidad Dinámica	0.3441	cP
Viscosidad Cinemática	0.4737	cSt
Conductividad Térmica	0.0695	BTU/h.Ft.F

**Para la corriente de LVN.**

Para la corriente LVN se realizó un promedio aritmético de las muestras de destilación (año 2005) de la corriente lateral de la torre despojadora de nafta T-102, LVN (muestra # 7). Se obtuvieron los resultados presentados a continuación.



**Figura 10** *Figura 5.4. Curva de destilación de corriente de LVN.*

Una vez creada la corriente de LVN (mediante pseudos-componentes) en la aplicación de QUEST/DISTEX se obtuvieron los siguientes resultados sus propiedades físicas y químicas:

**Tabla 5** *Tabla 5.4. Propiedades Físicas y Químicas de LVN.*

Peso Molecular	103.2	lb/lbmol
Entalpía	-675.4	BTU/lb
Densidad	44.39	lb/Ft <sup>3</sup>
Gravedad Específica	0.7358	@STP
Compresibilidad	0.067	Z
Capacidad Calorífica	0.0536	BTU/lb.F
Viscosidad Dinámica	0.3848	cP
Viscosidad Cinemática	0.5411	cSt
Conductividad Térmica	0.0691	BTU/h.Ft.F

Al igual que la curva de destilación los valores mínimo, promedio y máximo de RVP y RON del HPF fueron determinados a través de los valores recolectados de las muestras del laboratorio. Estos datos fueron utilizados para determinar los flujos volumétricos requeridos de HPF y de butano, para cumplir con las especificaciones de RVP y RON, así como con el volumen de producción requerido por día, tanto de gasolina Premium como de gasolina Regular. A continuación se muestran las tablas y figuras que muestran estos resultados.

**Tabla 6** *Tabla 5.5. Valores Promedios Mensuales de RON y RVP para el Año 2005.*

RON				
	LVN	HPF	G. Premium	G. Regular
<b>Enero</b>	66.70	93.75	87.11	95.04
<b>Febrero</b>	68.02	93.46	87.24	95.15
<b>Marzo</b>	67.85	94.25	87.25	95.05
<b>Abril</b>	Paro de planta			
<b>Mayo</b>	67.30	94.06	87.19	95.07
<b>Junio</b>	73.40	93.53	87.69	95.15
<b>Julio</b>	70.35	93.61	87.25	95.25
<b>Agosto</b>	70.35	93.94	87.26	95.12
<b>Septiembre</b>	67.85	93.76	87.06	95.14
<b>Octubre</b>	69.70	93.68	87.15	95.08
<b>Noviembre</b>	70.35	93.88	87.21	95.05
<b>Diciembre</b>	73.40	92.63	87.37	95.08
<b>Promedios</b>	69.57	93.68	87.25	95.11

RVP				
	LVN	HPF	G. Premium	G. Regular
<b>Enero</b>	12.05	6.23	10.88	8.72
<b>Febrero</b>	13.09	6.33	8.97	8.61
<b>Marzo</b>	13.65	5.90	8.79	10.50
<b>Abril</b>	Paro de planta			
<b>Mayo</b>	14.69	6.03	9.90	6.92
<b>Junio</b>	18.80	5.87	10.95	8.99
<b>Julio</b>	14.08	5.77	9.10	10.25
<b>Agosto</b>	13.97	6.47	8.55	10.74
<b>Septiembre</b>	14.59	6.29	10.71	8.41
<b>Octubre</b>	14.37	6.53	9.08	8.53
<b>Noviembre</b>	14.75	6.74	9.74	8.49
<b>Diciembre</b>	16.56	6.66	9.54	9.92
<b>Promedios</b>	14.60	6.26	9.66	9.10

### 5.1.2. Determinación de las Presiones y Temperaturas de Operación para el Butano, HPF, LPF y LVN en las Mezclas de Gasolinas.

Los datos de presiones y temperaturas de la torre separadora de butano, torre estabilizadora de reformado y torre separadora de nafta se tomaron de las simulaciones de la T-107, T-106 y T-102 respectivamente. (Fuente: Simulaciones del Ing. Contacto de Procesos, torres de nafta y ligeros).

Los datos de presiones y temperaturas de intercambiadores de calor y válvula de control de nivel y flujo, fueron tomados directamente en el campo con un manómetro calibrado. A continuación se presentan los datos de presiones y temperaturas en detalle:

### **Presión y Temperatura de Operación para el butano.**

Para determinar la presión y temperatura de operación de la corriente de butano se realizaron muestreo de presiones y temperaturas en diferentes puntos del sistema de tuberías, la cual inicia en el fondo de la torre separadora de propano – butano (T-107), pasa por un enfriador (E-131), hasta llegar a la tubería de mezclas (FICV-118 & PICV-112). La localización de estas tuberías se detalla en el plano E.5 del *Apéndice E*. Se tabularon los siguientes resultados:

**Tabla 7** *Tabla 5.6. Datos de Presión y Temperatura del Butano.*

<b>T-107</b>	<b>Torre separadora de C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub></b>		
P <sub>i</sub> , psi	235.00	T <sub>i</sub> , °F	100.00
P <sub>o</sub> , psi	240.00	T <sub>o</sub> , °F	225.00
<b>E-131</b>	<b>Fin-Fan de C<sub>4</sub></b>		
P <sub>i</sub> , psi	240.00	T <sub>i</sub> , °F	225.00
P <sub>o</sub> , psi	235.00	T <sub>o</sub> , °F	115.00
<b>LICV-112</b>	<b>Control de Nivel de T-107</b>		
P <sub>i</sub> , psi	235.00	T <sub>i</sub> , °F	115.00
P <sub>o</sub> , psi	230.00	T <sub>o</sub> , °F	115.00

### **Presión y Temperatura de operación para el HPF.**

Para determinar la presión y temperatura de operación de la corriente de HPF se realizaron muestreo de presiones y temperaturas en diferentes puntos del sistema de tuberías de HPF (corriente principal), iniciando en el fondo de la torre estabilizadora de reformado (T-106), hasta llegar a la tubería de mezclas (FICV-118 & PICV-112). Detalle de ubicación de tuberías en planos E.4, E.6 *Apéndice E*. Posteriormente se tabularon los siguientes resultados.

**Tabla 8** *Tabla 5.7. Datos de Presión y Temperatura del HPF.*

<b>T-106</b>	<b>Torre estabilizadora de Reformado</b>		
P <sub>i</sub> , psi	150.00	T <sub>i</sub> , °F	140.00
P <sub>o</sub> , psi	158.60	T <sub>o</sub> , °F	375.00
<b>E-130</b>	<b>Lado de Tubos: HPF, Lado de Coraza: C<sub>4</sub></b>		
P <sub>i</sub> , psi	158.60	T <sub>i</sub> , °F	375.00
P <sub>o</sub> , psi	148.60	T <sub>o</sub> , °F	355.00
<b>E-128</b>	<b>Fin-Fan de HPF</b>		
P <sub>i</sub> , psi	148.60	T <sub>i</sub> , °F	355.00
P <sub>o</sub> , psi	138.60	T <sub>o</sub> , °F	115.00
<b>LICV-111</b>	<b>Control de Nivel de T-106</b>		
P <sub>i</sub> , psi	138.60	T <sub>i</sub> , °F	115.00
P <sub>o</sub> , psi	133.60	T <sub>o</sub> , °F	115.00

### **Presión y Temperatura de operación para el LPF.**

Para determinar la presión y temperatura de operación de la corriente de LPF se realizaron muestreo de presiones y temperaturas en diferentes puntos del sistema de tuberías de LPF, iniciando en la extracción lateral de la torre estabilizadora de reformado (T-106), hasta llegar a la tubería de mezclas (FICV-111). A continuación se muestran los resultados.

**Tabla 9** *Tabla 5.8. Datos de Presión y Temperatura del LPF.*

<b>T-106</b>	<b>Torre estabilizadora de Reformado</b>		
P <sub>i</sub> , psi	150.00	T <sub>i</sub> , °F	140.00
P <sub>o</sub> , psi	158.60	T <sub>o</sub> , °F	375.00
<b>E-126</b>	<b>Fin-Fan de LPF</b>		
P <sub>i</sub> , psi	157.00	T <sub>i</sub> , °F	307.00
P <sub>o</sub> , psi	147.00	T <sub>o</sub> , °F	115.00
<b>FICV-111</b>	<b>Control de Flujo del LPF</b>		
P <sub>i</sub> , psi	147.00	T <sub>i</sub> , °F	115.00
P <sub>o</sub> , psi	142.00	T <sub>o</sub> , °F	115.00

### Presión y Temperatura de operación para el LVN.

Para determinar la presión y temperatura de operación de la corriente de LVN se usó el mismo procedimiento que en el caso anterior para el sistema de tuberías de LPF, iniciando en la extracción lateral de la torre separadora de nafta (T-102), hasta llegar a la tubería de mezclas (FICV-105). A continuación se presentan los resultados.

**Tabla 10** *Tabla 5.9. Datos de Presión y Temperatura del LVN.*

<b>T-102</b>	<b>Torre separadora de Nafta</b>		
P <sub>i</sub> , psi	160.00	T <sub>i</sub> , °F	185.00
P <sub>o</sub> , psi	168.00	T <sub>o</sub> , °F	425.00
<b>E-109</b>	<b>Fin-Fan de C<sub>4</sub></b>		
P <sub>i</sub> , psi	168.00	T <sub>i</sub> , °F	330.00
P <sub>o</sub> , psi	163.00	T <sub>o</sub> , °F	115.00
<b>FICV-105</b>	<b>Control de Nivel de T-107</b>		
P <sub>i</sub> , psi	163.00	T <sub>i</sub> , °F	115.00
P <sub>o</sub> , psi	128.00	T <sub>o</sub> , °F	115.00

#### *5.1.3. Determinación de los flujos volumétricos para el Butano, HPF, LPF y LVN en las mezclas de gasolinas.*

Una vez obtenidas las calidades de las corrientes de mezcla mediante el análisis estadístico de las muestras del laboratorio. Se procedió al realizar el calculo de los flujos necesarios de Butano y HPF para cumplir con las especificaciones de RVP (10 psia para ambas gasolinas) y RON (Premium 95 RON, Regular 87 RON). Estos cálculos están en dependencia a la alimentación del reformador y a la operación de la planta de solventes U-800. Para realizar estos cálculos se asumió una alimentación al reformador de 3000 B/D cuando la U-800 estuviera operando en modo Xileno, y una alimentación de 2900 B/D cuando la U-800 estuviera operando en modo DSP.

Los objetivos de producción para la gasolina regular son de 1,100 B/D y para la gasolina Premium son de 1,800 B/D. Esta es la base del cálculo para el volumen de producción. Si no se cumple con el objetivo se deberá importar el volumen faltante de uno de los dos productos<sup>23</sup>. Estos volúmenes diarios fueron obtenidos de promedios calculados, con los volúmenes de ventas mensuales mostrados en la *Figura D.1* para gasolina Premium y *Figura D.4* para gasolina Regular (*Apéndice D*).

Los volúmenes presentados a continuación fueron utilizados para realizar los cálculos de dimensionamiento de las válvulas de control de adición de butano y HPF hacia las dos gasolinas. La *Tabla 5.10* presentada a continuación es un resumen de los flujos

<sup>23</sup> Datos calculados de los volúmenes de ventas mensuales. Ver Apéndice D.

volumétricos necesarios para cumplir con los volúmenes de ventas diarios de gasolina Premium y gasolina Regular.

**Tabla 11** *Tabla 5.10. Volúmenes de HPF y Butano necesarios para cumplir con la especificación de RVP & RON para gasolinas Premium y Regular.*

<b>I) Calculo de Volumen de Butano para la Gasolina Regular.</b>										
<i>U-800 en modo Xileno.</i>					<i>Alimentación PWF</i>		<i>3000</i>	<i>B/D</i>		
PWFT (BBLS)	RVP#14	RON#14	Butano (BBLS)	RVP Butano	RON Butano	Regular (BBLS)	Premium (BBLS)	Importación Premium (BBLS)	RVP final	RON final
515	4.67	88.30	33	67.35	93.0	1,100.00	1,610.00	190.00	10.0	87.0
524	6.26	93.70	24	67.35	93.0	1,100.00	1,601.00	199.00	10.0	87.0
532	7.67	97.20	16	67.35	93.0	1,100.00	1,593.00	207.00	10.0	87.0
<b>II) Calculo de Volumen de Butano para la Gasolina Regular.</b>										
<i>U-800 en modo DSP.</i>					<i>Alimentación PWF</i>		<i>2900</i>	<i>B/D</i>		
PWFT (BBLS)	RVP#14	RON#14	Butano (BBLS)	RVP Butano	RON Butano	Regular (BBLS)	Premium (BBLS)	Importación Premium (BBLS)	RVP final	RON final
1,036	4.67	88.30	64	67.35	93.0	1,100.00	1,719.00	81.00	10.0	87.0
1,053	6.26	93.70	47	67.35	93.0	1,100.00	1,700.00	100.00	10.0	87.0
1,070	7.67	97.20	30	67.35	93.0	1,100.00	1,683.00	117.00	10.0	87.0
<b>II) Calculo de Volumen de Butano para la Gasolina Premium.</b>										
<i>U-800 en modo Xileno.</i>					<i>Alimentación PWF</i>		<i>3000</i>	<i>B/D</i>		
PWFT (BBLS)	RVP#14	RON#14	Butano (BBLS)	RVP Butano	RON Butano	Regular (BBLS)	Premium (BBLS)	Importación Premium (BBLS)	RVP final	RON final
894	4.67	88.30	83	67.35	93.0	1,800.00	919.00	181.00	10.0	95.0
909	6.26	93.70	68	67.35	93.0	1,800.00	904.00	196.00	10.0	95.0
925	7.67	97.20	52	67.35	93.0	1,800.00	888.00	212.00	10.0	95.0
<b>IV) Calculo de Volumen de Butano para la Gasolina Premium.</b>										
<i>U-800 en modo DSP.</i>					<i>Alimentación PWF</i>		<i>2900</i>	<i>B/D</i>		
PWFT (BBLS)	RVP#14	RON#14	Butano (BBLS)	RVP Butano	RON Butano	Regular (BBLS)	Premium (BBLS)	Importación Premium (BBLS)	RVP final	RON final
1,695	4.67	88.30	105	67.35	93.0	1,800.00	1,038.00	62.00	10.0	95.0
1,723	6.26	93.70	77	67.35	93.0	1,800.00	1,010.00	90.00	10.0	95.0
1,750	7.67	97.20	50	67.35	93.0	1,800.00	983.00	117.00	10.0	95.0
<b>V) Calculo de Volumen de Butano máximo para la Gasolina Premium.</b>										
<i>U-800 en modo DSP.</i>					<i>Alimentación PWF</i>		<i>3000</i>	<i>B/D</i>		
PWFT (BBLS)	RVP#14	RON#14	Butano (BBLS)	RVP Butano	RON Butano	Premium(BBLS)		RVP final	RON final	
2,550	4.67	88.30	180	67.35	93.0	2,955.00		10.0	95.0	
2,550	6.26	93.70	135	67.35	93.0	2,910.00		10.0	95.0	
2,550	7.67	97.20	95	67.35	93.0	2,870.00		10.0	95.0	

Por lo tanto, resumiendo los flujos calculados para la adición de butano se presentan en la *Tabla 5.11.*

**Tabla 12** *Tabla 5.11. Flujos Mínimo, Promedio y Máximo de adición de butano a gasolinas Premium y Regular.*

Rango de flujo	B/D	GPM	Ft3/h	lb/Ft3	lb/h
Mínimo	16.00	0.4667	3.74	33.65	125.95
Normal	54.00	1.5750	12.63	33.65	425.07
Máximo.	180.00	5.2500	42.11	33.65	1,416.90



## 5.2. EVALUACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE TUBERÍAS PARA LA MEZCLA DE BUTANO, HPF, LPF Y LVN.

Los resultados de la evaluación cualitativa del sistema actual de tuberías mostraron que el sistema actual de tuberías es adecuado para realizar la automatización del sistema de mezclado los diámetros de las tuberías son: 3/4 de pulgada (Butano); 2 pulgadas (HPF), 1 pulgada (LPF) y 1 pulgada (LVN). Sin embargo, se encontró que las tuberías de la sección de butano presentaban señales de corrosión y que no contaban con el espacio recomendado por las prácticas de diseño de Esso Standard Oil para la instalación de nuevas válvulas de control. Por lo tanto, es necesario el realizar el dimensionamiento de la nueva tubería y la instalación de la misma para la sección de butano. Por otro lado, se identificó que la adición del butano hacia las dos gasolinas es mediante válvulas de operación manual; así mismo la adición de HPF a gasolina Premium se realiza de igual manera. Finalmente, Para el sistema de adición de LPF y LVN a las gasolinas Premium y Regular, no se requiere la instalación de ninguna válvula de control puesto que ya existen de proyectos de mejoras anteriores.

Para realizar la evaluación del sistema de tuberías actuales e instrumentación donde se llevan a cabo las mezclas de las corrientes de butano, HPF, LPF y LVN; se dividió todo el sistema de tuberías en cuatro secciones y se analizó cada una de forma independiente:

- Sección de líneas de la corriente de butano a mezcla de gasolinas.
- Sección de líneas de la corriente de HPF (línea principal en producción de gasolina Premium y Regular).
- Sección de líneas de la corriente de LPF a mezcla de gasolinas.
- Sección de líneas de la corriente de LVN a mezclas de gasolinas.

A continuación se presentan las tablas, en las cuales se resumen los cálculos de caída de presión total de cada sección de líneas, diámetros de línea, cédula, caída de presión por fricción, caída de presión por aceleración, caída de presión por elevación, factores de fricciones, numero de Reynolds, etc.

**Tabla 13** *Tabla 5.12. Resultados de caída de presión en la línea de butano a gasolinas.*

<b>Caso: Estudio de Caída de Presión en la línea de Butano.</b>					
<b>Línea de Butano 3/4 - 800#: Butano a mezcla de Gasolinas</b>					
<b>Condiciones específicas en la tubería.</b>					
Presión	230.00	psi	Temperatura	115.00	F
Descripción	Valores	Unidades	Descripción	Valores	Unidades
Longitud Equivalente (tubería recta)	100.00	Ft	Factor de Fricción de Fanning	0.0064	
Longitud Equivalente (accesorios)	0.00	Ft	Caída de Presión por Fricción	1.539	psi
Longitud Equivalente total	100.00	Ft	Caída de Presión por Aceleración	0	psi
Rugosidad de la tubería	0.0018	in	Caída de Presión por Elevación	-0.0771	psi
Cambio en elevación	-0.33	Ft	<b>Caída de Presión Total</b>	<b>1.4683</b>	<b>psi</b>
Diámetro Nominal	3/4	in			
Cedula de la tubería	40				
Diámetro interno	0.824	in			
<b>Entrada de la tubería</b>			<b>Salida de la tubería</b>		
Presión	230.00	psi	Presión	228.53	psi
Número de Reynolds	87443.40		Número de Reynolds	87443.40	
Velocidad	3.373	Ft/s	Velocidad	3.373	Ft/s
Cabezal Cinético	-14.65	psi	Cabezal Cinético	-14.65	psi
Cabezal por elevación	-14.70	psi	Cabezal por elevación	-14.70	psi
Densidad	33.65	lb/Ft <sup>3</sup>	Densidad	33.65	lb/Ft <sup>3</sup>

**Tabla 14** *Tabla 5.13. Resultados de caída de presión en la línea de HPF a gasolinas.*

<b>Caso: Estudio de Caída de Presión en la línea de HPF.</b>					
<b>Línea de HPF 2 - 300#: HPF a mezcla de Gasolinas</b>					
<b>Condiciones específicas en la tubería</b>					
Presión	148.00	psi	Temperatura	115.00	F
Descripción	Valores	Unidades	Descripción	Valores	Unidades
Longitud Equivalente (tubería recta)	100.00	Ft	Factor de Fricción de Fanning	0.0051	
Longitud Equivalente (accesorios)	0.00	Ft	Caída de Presión por Fricción	2.631	psi
Longitud Equivalente total	100.00	Ft	Caída de Presión por Aceleración	0	psi
Rugosidad de la tubería	0.0018	in	Caída de Presión por Elevación	-2.309	psi
Cambio en elevación	-7.33	Ft	<b>Caída de Presión Total</b>	<b>0.3223</b>	<b>psi</b>
Diámetro Nominal	2	in			
Cedula de la tubería	40				
Diámetro interno	2.067	in			
<b>Entrada de la tubería</b>			<b>Salida de la tubería</b>		
Presión	148.00	psi	Presión	147.68	psi
Número de Reynolds	228089.20		Número de Reynolds	228089.20	
Velocidad	6.770	Ft/s	Velocidad	6.770	Ft/s
Cabezal Cinético	-14.45	psi	Cabezal Cinético	-14.45	psi
Cabezal por elevación	-14.70	psi	Cabezal por elevación	-14.70	psi
Densidad	45.36	lb/Ft <sup>3</sup>	Densidad	45.36	lb/Ft <sup>3</sup>

**Tabla 15** *Tabla 5.14. Resultados de caída de presión en la línea de LPF a gasolinas.*

<b>Caso: Estudio de Caída de Presión en la línea de LPF.</b>					
<b>Línea de LPF 1 - 300#: LPF a mezcla de Gasolinas</b>					
<b>Condiciones específicas en la tubería</b>					
Presión	171.70	psia	Temperatura	115.00	F
Descripción	Valores	Unidades	Descripción	Valores	Unidades
Longitud Equivalente (tubería recta)	100.00	Ft	Factor de Fricción de Fanning	0.0062	
Longitud Equivalente (accesorios)	0.00	Ft	Caída de Presión por Fricción	1.248	psi
Longitud Equivalente total	100.00	Ft	Caída de Presión por Aceleración	0	psi
Rugosidad de la tubería	0.0018	in	Caída de Presión por Elevación	-3.237	psi
Cambio en elevación	-12.00	Ft	<b>Caída de Presión Total</b>	<b>-1.988</b>	<b>psi</b>
Diámetro Nominal	1	in			
Cedula de la tubería	40				
Diámetro interno	1.049	in			
<b>Entrada de la tubería</b>			<b>Salida de la tubería</b>		
Presión	157.00	psi	Presión	159.00	psi
Número de Reynolds	81190.70		Número de Reynolds	81190.70	
Velocidad	3.259	Ft/s	Velocidad	3.259	Ft/s
Cabezal Cinético	-14.65	psi	Cabezal Cinético	-14.65	psi
Cabezal por elevación	-14.70	psi	Cabezal por elevación	-17.93	psi
Densidad	38.84	lb/Ft <sup>3</sup>	Densidad	38.84	lb/Ft <sup>3</sup>

**Tabla 16** *Tabla 5.15. Resultados de caída de presión en la línea de LVN a gasolinas.*

Caso: Estudio de Caída de Presión en la línea de LVN.					
Línea de LVN 2 - 300#: LVN a mezcla de Gasolinas					
Condiciones específicas en la tubería					
Presión	163.00	psi	Temperatura	115.00	F
Descripción	Valores	Unidades	Descripción	Valores	Unidades
Longitud Equivalente (tubería recta)	100.00	Ft	Factor de Fricción de Fanning	0.0063	
Longitud Equivalente (accesorios)	0.00	Ft	Caída de Presión por Fricción	0.0868	psi
Longitud Equivalente total	100.00	Ft	Caída de Presión por Aceleración	0	psi
Rugosidad de la tubería	0.0018	in	Caída de Presión por Elevación	-1.849	psi
Cambio en elevación	-6.00	Ft	<b>Caída de Presión Total</b>	<b>-1.763</b>	<b>psi</b>
Díametro Nominal	2	in			
Cédula de la tubería	40				
Díametro interno	2.067	in			
Entrada de la tubería			Salida de la tubería		
Presión	163.00	psi	Presión	164.80	psi
Número de Reynolds	33076.70		Número de Reynolds	33076.70	
Velocidad	1.120	Ft/s	Velocidad	1.120	Ft/s
Cabezal Cinético	-14.69	psi	Cabezal Cinético	-14.69	psi
Cabezal por elevación	-14.70	psi	Cabezal por elevación	-14.70	psi
Densidad	44.39	lb/Ft <sup>3</sup>	Densidad	44.39	lb/Ft <sup>3</sup>

Por lo tanto, se resume de las *tablas 5.12, 5.13, 5.14 y 5.15* que las caídas de presión en cada sección de tuberías son las siguientes:

**Tabla 17** *Tabla 5.16. Caída de Presión totales por sección de tubería.*

Sección de líneas	Caída de presión total	Unidades
Butano	1.4683	psi
HPF	0.3223	psi
LPF	-1.988	psi
LVN	-1.763	psi

### 5.3. DISEÑO DE VÁLVULAS DE CONTROL DE FLUJO, PRESIÓN E INSTRUMENTACIÓN DE CONTROL.

Los resultados de la evaluación cualitativa del sistema de mezclado mostraron que el sistema actual requiere la instalación de nuevas válvulas de control de flujo y nueva instrumentación de medición para llevar a cabo la automatización del sistema. Mediante la evaluación cualitativa, se analizó cuáles de las corrientes se necesitan controlar para obtener las especificaciones de RON y RVP. Basados en las calidades de las corrientes, se determinó que las más importantes son el butano y el HPF, debido a que afectan significativamente las especificaciones de RON y RVP si no son adicionadas adecuadamente. Actualmente, estas dos corrientes son adicionadas de forma manual. La corriente de butano, es adicionada a gasolina Premium y a gasolina Regular de forma paralela o bien de forma independiente; el butano excedente es enviado a tanques de almacenamiento de butano. Por lo tanto, el butano necesita de dos válvulas de control de flujo y de sus respectivos medidores de flujo, una para enviar butano a gasolina Premium y la otra para enviarlo a gasolina Regular. El exceso de butano a tanque será controlado por una válvula de control de presión, para mantener la presión adecuada en el sistema de

mezclado; si la presión del butano aumenta esta válvula abrirá para enviar el butano excedente a tanques de almacenamiento. Se necesita otra válvula de control de flujo y su medidor de flujo para la adición de HPF a gasolina Premium, el resto del HPF se envía a la gasolina Regular.

Para realizar el diseño de las válvulas de control de flujo y presión necesarios para la automatización del sistema de mezclado de gasolinas. Se utilizaron los flujos mínimos, promedios y máximos de la corriente de butano y HPF para cumplir con las especificaciones de RVP y RON de ambas gasolinas. Además, se tomaron en cuenta los valores de RVP y RON mínimos, promedio y máximos de la corriente de HPF correspondientes al 2005. En el diseño también se utilizaron los valores calculados de caída de presión que deberá absorber cada válvula de control.

Se realizaron los cálculos de diseño de las cuatro válvulas de control y los tres medidores de flujo (platos de orificio) a través de PEGASYS 6.01e, en donde se encuentran todas las ecuaciones descritas en el marco teórico sección 3.5 y mediante el procedimiento de cálculo descrito en la metodología. Se seleccionaron los medidores de platos de orificios debido a que estos son los medidores más económicos, fáciles de instalar y proporcionan de una medición confiable y precisa.

#### *5.4.1. Resultados para la Corriente de Butano.*

##### **Butano a Gasolina Premium.**

Para dimensionar las válvulas de control de adición de butano a gasolinas se requirió determinar la caída de presión de diseño para las válvulas de control. Por lo tanto, se sabe de la *Tabla 5.6* que:

- Aguas arriba de la válvula de control se deberá mantener una presión de 240 psig de entrada al E-131.
- Aguas abajo de la válvula de control se estima se mantendrá una presión de 122.95 psig de entrada al PICV-112<sup>24</sup>.
- Se asume que la caída de presión debido a tuberías y accesorios es despreciable debido a la corta distancia a la que se encuentran los equipos de entre si.

---

<sup>24</sup> Hoja de Datos Técnicos del PICV-112. Biblioteca de Refinería.

**Tabla 18** *Tabla 5.17. Caída de Presión de Diseño para FICV-11-19.*

<b>Punto 1.</b>		
<b>E-131</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
Presión de entrada hoja de datos	270	psig
Presión de entrada medida	240	psig
Caída de presión permitida	5	psig
<b>Punto 2.</b>		
<b>FRC-11-18</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
Presión de entrada medida	127.95	psig
Caída de presión	5	psig
Presión de salida	122.95	psig
<b><math>\Delta P_{1-2}</math></b>	<b>117.05</b>	<b>psig</b>

Debido a factores de construcción y disponibilidad de la válvula se tomara un valor de 120 psig de caída de presión para el diseño de la válvula de control de adición de butano a gasolina Premium FICV-11-19.

**Tabla 19** *Tabla 5.18. Resultados de Diseño de Válvula de Control para Butano a Gasolina Premium.*

Caso: Diseño de Válvula de Control FICV-11-19					
Equipo: FICV-11-19 Butano a gasolina Premium					
Servicio			Resumen del Diseño		
Tipo de válvula	Globo un asiento		Válvula necesaria para estas condiciones	1	
Corriente de proceso	Butano		Tipo de válvula	Válvula Globo	
Tipo de servicio	Líquido		Cv para esta válvula	15	
Fase a la entrada	Líquido		Rango de operación de la válvula	479	
Fase a la salida	Líquido				
Corriente de entrada			Corriente de salida		
Flujo masico	1,416.90	lb/h	Flujo masico	1,416.90	lb/h
Temperatura	115.00	F	Temperatura	115.24	F
Presión	230.00	psig	Presión	110.00	psig
Caída de presión	120.00	psi	Densidad del liquido	33.51	lb/Ft <sup>3</sup>
Densidad del liquido	33.65	lb/Ft <sup>3</sup>			
Presión de vapor del liquido	82.82	psia			
Resultados de diseño					
	Flujo Mínimo		Flujo Normal		Flujo Máximo
Flujo masico (lb/h)	125.95		425.07		1,416.90
Cv calculado	0.0313		0.1057		0.3523
Cv incluyendo el factor 80%	0.0391		0.1321		0.4403
Tamaño de válvula seleccionado	1		1		1
Cv de la válvula seleccionada	15		15		15

## **Butano a Gasolina Regular.**

**Tabla 20** *Tabla 5.19. Caída de Presión de Diseño para FICV-11-20.*

<b>Punto 1.</b>		
LICV-112	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
Presión de entrada medida	235	psig
Caída de presión permitida	5	psig
Presión de salida medida	230	psig
<b>Punto 2.</b>		
PICV-112.	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
Presión de entrada medida	127.95	psig
Caída de presión	5	psig
Presión de salida	122.95	psig
$\Delta P_{1-2}$	102.05	psig

Debido a factores de construcción y disponibilidad de la válvula se tomará un valor de 100 psig de caída de presión para el diseño del FICV-11-20.

**Tabla 21** *Tabla 5.20. Resultados de Diseño de Válvula de Control para Butano a Gasolina Regular.*

Caso: Diseño de Válvula de Control FICV-11-20					
Equipo: FICV-11-20 Butano a gasolina Regular					
Servicio			Resumen del Diseño		
Tipo de válvula	Globo un asiento		Válvula necesaria para estas condiciones		1
Corriente de proceso	Butano		Tipo de válvula		Válvula Globo
Tipo de servicio	Líquido		Cv para esta válvula		15
Fase a la entrada	Líquido		Rango de operación de la válvula		437.3
Fase a la salida	Líquido				
Corriente de entrada			Corriente de salida		
Flujo masico	1,416.90	lb/h	Flujo masico	27,586.02	lb/h
Temperatura	115.00	F	Temperatura	115.20	F
Presión	230.00	psig	Presión	130.00	psig
Caída de presión	100.00	psi	Densidad del liquido	33.53	lb/Ft <sup>3</sup>
Densidad del liquido	33.65	lb/Ft <sup>3</sup>			
Presión de vapor del liquido	82.82	psia			
Resultados de diseño					
	Flujo Mínimo		Flujo Normal		Flujo Máximo
Flujo masico (lb/h)	125.95		425.07		1,416.90
Cv calculado	0.0343		0.1158		0.3859
Cv incluyendo el factor 80%	0.0429		0.1447		0.4824
Tamaño de válvula seleccionado	1		1		1
Cv de la válvula seleccionada	15		15		15

**Tabla 22** *Tabla 5.21. Resultados de Diseño de Medidor de flujo para Butano a Gasolina Premium y Regular.*

Caso: Diseño de medidor de flujo FIC-11-19 & FIC-120					
Equipo: FIC-11-19 Butano a gasolina Premium & gasolina Regular					
Condiciones específicas en la tubería					
Presión	230.00	psi	Temperatura	115.00	F
Servicio			Resumen del Diseño		
Tipo de medidor	Orificio		Diámetro del orificio	0.5071097	in
Corriente de proceso	Butano		Proporción d/D	0.483422	
Material del medidor	316		Rango de Medición de Flujo	200	B/D
Material de Tubería	Acero al carbón		Diferencial de presión	25	in H2O
Diámetro nominal	1				

### **Butano a Tanques de Almacenamiento.**

**Tabla 23** *Tabla 5.22. Caída de Presión de Diseño para PICV-11-3V.*

Punto 1.		
LICV-112	Valores	Unidades
Presión de entrada medida	235	psig
Caída de presión permitida	5	psig
Presión de salida medida	230	psig
Punto 2.		
Tk-105	Valores	Unidades
Presión medida	60	psig
$\Delta P_{1-2}$	170	psig

Debido a que se no se quiere una restricción de flujo hacia los tanques de almacenamiento se tomará un valor de 35 psig de caída de presión para el diseño del PICV-11-3V. Sin embargo la válvula deberá ser capaz de absorber 170 psig.

**Tabla 24** *Tabla 5.23. Resultados de Diseño de Válvula de Control para Butano a Tanques.*

Caso: Diseño de Válvula de Control FICV-11-3V					
Equipo: FICV-11-3V Butano a tanques de almacenamiento					
Servicio			Resumen del Diseño		
Tipo de válvula	Globo un asiento		Válvula necesaria para estas condiciones		1
Corriente de proceso	Butano		Tipo de válvula		Válvula Globo
Tipo de servicio	Líquido		Cv para esta válvula		15
Fase a la entrada	Líquido		Rango de operación de la válvula		40.24
Fase a la salida	Líquido				
Corriente de entrada			Corriente de salida		
Flujo masico	3,149.54	lb/h	Flujo masico	3,149.54	lb/h
Temperatura	115.00	F	Temperatura	115.07	F
Presión	230.00	psig	Presión	195.00	psig
Caída de presión	35.00	psi	Densidad del liquido	33.61	lb/Ft <sup>3</sup>
Densidad del liquido	33.65	lb/Ft <sup>3</sup>			
Presión de vapor del liquido	82.82	psia			
Resultados de diseño					
	Flujo Mínimo		Flujo Normal		Flujo Máximo
Flujo masico (lb/h)	809.68		2,172.59		3,149.54
Cv calculado	0.3727		1		1.45
Cv incluyendo el factor 80%	0.4659		1.25		1.812
Tamaño de válvula seleccionado	1		1		1
Cv de la válvula seleccionada	15		15		15

### 5.4.2. Resultados para la Corriente de HPF.

Para dimensionar la válvula de control de adición de HPF a gasolinas se requirió determinar la caída de presión de diseño para la válvula de control. Por lo tanto, se sabe de la *Tabla 5.7* que:

- Aguas arriba de la válvula de control se deberá mantener una presión de 148 psig salida del E-128.
- Aguas abajo de la válvula de control se mantendrá una presión de 100 ~ 122 psig del sistema de mezclado de gasolinas.
- Se asume que la caída de presión debido a tuberías y accesorios es despreciable debido a la corta distancia a la que se encuentran los equipos de entre si.

**Tabla 25** *Tabla 5.24. Caída de Presión de Diseño para FICV-11-18.*

Punto 1.		
E-128	Valores	Unidades
Presión de entrada medida	148	psig
Caída de presión permitida	10	psig
Presión de salida medida	138	psig
Punto 2.		
PICV-112	Valores	Unidades
Presión medida	100 ~ 122	psig
$\Delta P_{1-2}$	48	psig

Debido a factores de construcción y disponibilidad de la válvula se tomará un valor de 50 psig de caída de presión para el diseño del FICV-11-18.

**Tabla 26** *Tabla 5.25. Resultados de Diseño de Válvula de Control para HPF a Gasolina Premium.*

Caso: Diseño de Válvula de Control FICV-11-18					
Equipo: FICV-11-18 HPF a gasolina Premium					
Servicio			Resumen del Diseño		
Tipo de válvula	Cage puerto completo		Válvula necesaria para estas condiciones	2	
Corriente de proceso	HPF		Tipo de válvula	Válvula Cage	
Tipo de servicio	Liquido		Cv para esta válvula	35	
Fase a la entrada	Liquido		Rango de operación de la válvula	16.57	
Fase a la salida	Liquido				
Corriente de entrada			Corriente de salida		
Flujo masico	27,586.02	lb/h	Flujo masico	27,586.02	lb/h
Temperatura	115.00	F	Temperatura	115.22	F
Presión	130.00	psig	Presión	80.00	psig
Caída de presión	50.00	psi	Densidad del liquido	45.32	lb/Ft <sup>3</sup>
Densidad del liquido	45.35	lb/Ft <sup>3</sup>			
Presión de vapor del liquido	7.75	psia			
Resultados de diseño					
	Flujo Mínimo		Flujo Normal		Flujo Máximo
Flujo masico (lb/h)	6,365.44		19,096.32		27,586.02
Cv calculado	2.112		6.335		9.152
Cv incluyendo el factor 80%	2.64		7.919		11.44
Tamaño de válvula seleccionado	2		2		2
Cv de la válvula seleccionada	35		35		35



**Tabla 27** *Tabla 5.26. Resultados de Diseño de Medidor de Flujo para HPF a Gasolina Premium.*

Caso: Diseño de medidor de flujo FIC-11-18					
Equipo: FIC-11-18 HPF a gasolina Premium					
Condiciones específicas en la tubería					
Presión	130.00	psi	Temperatura	115.00	F
Servicio			Resumen del Diseño		
Tipo de medidor	Orificio		Diámetro del orificio	1.323026	in
Corriente de proceso	HPF		Proporción d/D	0.6415222	
Material del medidor	316		Rango de Medición de Flujo	2600	B/D
Material de Tubería	Acero al carbón		Diferencial de presión	100	in H <sub>2</sub> O
Diámetro nominal	2				

#### 5.4. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO MEDIANTE RELACIÓN BENEFICIO/COSTO.

Se llevo a cabo el análisis y determinación de los beneficios que se obtendrían con la realización del proyecto, así como también los costos que conlleva el mismo; posteriormente, se determinó la relación Beneficio Costos del proyecto.

Los beneficios económicos del proyecto de automatización del sistema de mezclado, se obtuvieron determinando cuanto dinero que se esta dejando de percibir debido a los regalos de calidades en las gasolinas Premium y Regular (QGA). Los regalos de calidad reportados para el año 2005 se muestran en las Figuras D.2, D.3, D.5, D.6. Apéndice D. Las calidades que deben cumplir las gasolinas son números de octanos (RON) y presión de vapor (RVP). Para la gasolina Premium estas especificaciones son 95 RON y 10 psi de RVP; mientras que para la gasolina Regular son 87 RON y 10 psi RVP.

A continuación se presenta la Tabla 5.26 que muestra las cantidades monetarias de los beneficios del proyecto.

**Tabla 28** *Tabla 5.27. Beneficio Económicos del Proyecto Automatización del Sistema de Mezclado.*

Beneficio			
QGA 2005 para gasolinas Regular.		QGA 2005 para gasolinas Premium.	
Regalos de Calidad por RON	\$196,247.94	Regalos de Calidad por RON	\$ 31,770.51
Regalos de Calidad por RVP	\$ 31,633.00	Regalos de Calidad por RVP	\$148,357.25
<b>Total</b>	<b>\$227,880.94</b>	<b>Total</b>	<b>\$180,127.77</b>
<b>Valor Presente del beneficio</b>	<b>\$254,852.93</b>	<b>Valor Presente del beneficio</b>	<b>\$201,447.69</b>

Por otro lado, el cálculo de los costos del proyecto se obtuvo mediante las cotizaciones para las válvulas de control, instrumentación de flujos y tuberías. El costo de todos los accesorios de tuberías fue tomado de los registros de compra que presenta la bodega de Manref. Además, los servicios de creación de planos, servicios de soldaduras, instalación de tuberías, etc., se determinaron a través de las órdenes de trabajos realizadas por el departamento de mantenimiento. Toda esta información es presentada en el listado de materiales del Apéndice D. A continuación se presentan estos resultados.

**Tabla 29** *Tabla 5.28. Costos del Proyecto de Automatización del Sistema de Mezclado.*

<b>Costo</b>	
Costo de Materiales de tuberías y accesorios	\$ 8,022.09
Costos de válvulas de control y sistema de control	\$ 42,742.88
Costos totales de mano de obra en planos, soldadura, pintura, instalación y supervisión	\$ 14,984.00
<b>INVERSION TOTAL</b>	<b>\$ 65,748.97</b>

El resultado de la relación Beneficio Costo es simplemente la división de los beneficios del proyecto entre los costos totales del mismo; esta operación da como resultado 6.94. Como se puede observar se obtuvo una relación Beneficio Costo, mayor a 1.00 lo cual indica que el proyecto es económicamente rentable.

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

Después de haber realizado: la evaluación de las cuatro secciones de tuberías de las corrientes de butano, HPF, LPF y LVN; la selección de las válvulas de control de flujo y presión; el diseño los medidores de flujo (platos de orificio) y después de haber realizado el análisis de la relación Beneficio Costo, se obtuvieron los resultados que se analizan a continuación y se discute si están o no acorde a las bases teóricas establecidas en el marco teórico.

### ***6.1. EVALUACIÓN DEL SISTEMA TUBERÍAS BUTANO, HPF, LPF Y LVN.***

Se realizaron los cálculos de caída de presión para cada una de las secciones de líneas de corrientes a mezcla a través de PEGASYS 6.01e. Los resultados fueron comparados con el valor máximo permitido de caída de presión, 0.4 psi/100 pies de tubería, para tuberías de succión de bombas y tuberías que mueven fluidos por diferencial de presión y no a través de una bomba. Esta información se encuentra en la *Tabla A.1* del *Apéndice A*.

El análisis de la sección de líneas de la corriente de butano a mezclas es la única sección que resultó encontrarse sub-dimensionada. El diámetro actual de esta tubería es 3/4 de pulgada y debe incrementarse, debido a que los cálculos de caída de presión exceden el valor permitido (0.40 psi/100 pies de tubería) al utilizar el máximo flujo de butano que se necesita agregar a las mezclas de gasolinas. Por lo que se puede observar en la *Tabla 5.12* la caída de presión para la tubería de butano a mezcla de gasolinas es de 1.4683 psi/100 pies de tubería. Por otro lado, esta sección de líneas presentaba problemas de espaciamiento adecuado para la instalación de las válvulas de control requeridas para la adición de butano a la mezcla de gasolinas. Ver plano isométrico en la página *E.3, Apéndice E*.

Por lo tanto, se requirió determinar el nuevo diámetro de tubería para la sección de butano, con el cual se satisfacen los requisitos de caída de presión máxima para dicha tubería. Además, fue necesario realizar previamente el diseño y dimensionamiento de las válvulas de control, para la adición de butano a la mezcla de gasolinas. Esto debido a que toda válvula de control puede ser de menor o igual tamaño al diámetro de la tubería; pero nunca de mayor diámetro. Además es necesario saber las dimensiones de las válvulas de control para realizar una estimación del espacio que ocuparán.

Por otra parte, el análisis de las secciones de líneas de HPF, LPF y LVN determinó que las tuberías se encuentran correctamente dimensionadas, es decir, el diámetro actual de las tuberías es el adecuado. Además, los cálculos de caída de presión utilizando el flujo máximo requerido para realizar las mezclas, se encuentran dentro los rangos permitidos. Por lo tanto, no se requiere de la instalación de nueva tubería para estas secciones de líneas.

Las líneas de HPF y LPF a mezclas de gasolinas sí cumplen el requerimiento de caída de presión máxima de 0.40 psi/100 pies de tubería. Para el caso del HPF se obtuvo una caída de presión de 0.3223 psi/100 pies de tubería lo cual esta dentro del rango. Para el caso del LPF, se obtuvo una caída de presión de -1.988 psi/ 100 pies de tubería lo cual significa que

en realidad no hubo una caída de presión sino un aumento en la presión debido a la diferencia en la elevación (mayor cabezal potencial).

Igual que en el caso del LPF a mezclas de gasolinas, la línea de LVN a gasolinas cumple el requerimiento de caída de presión máxima de 0.40 psi/100 pies de tubería. Se obtuvo una caída de presión de 0.-1.763 psi/100 pies de tubería lo cual significa que en realidad no hubo una caída de presión sino un aumento en la presión debido a la diferencia en la elevación (mayor cabezal potencial).

## **6.2. SELECCIÓN DE VÁLVULAS DE CONTROL DE FLUJO, PRESIÓN E INSTRUMENTACIÓN DE CONTROL.**

Una vez que se diseñaron las válvulas de control para butano, se determinó que el diámetro correcto de la tubería debería de ser de 1 in para cumplir con los requerimientos arriba mencionados.

Para realizar el diseño de las válvulas de control de flujo y presión, con el cual se obtendría un sistema de mezclado automatizado. Se requirió del análisis previo del sistema de mezclado (se puede encontrar un diagrama sencillo del sistema de mezclado en la pagina E.1 del *Apéndice E*). Se determinó que para el sistema de adición de LPF y LVN a las gasolinas Premium y Regular, no se requiere la instalación de ninguna válvula de control debido a que ya existen válvulas de control de flujo y los medidores de flujo para estas dos corrientes.

Después de realizar el análisis del sistema de mezclado. Se determinó que para automatizar el sistema de mezclado a un costo aceptable se debían diseñar cuatro válvulas de control (tres válvulas para el control de flujo y una para el control de presión).

- Válvula de control de flujo para adicionar butano a gasolina Premium.
- Válvula de control de flujo para adicionar butano a gasolina Regular.
- Válvula de control de presión del sistema de butano a gasolinas y el exceso a tanques.
- Válvula de control de flujo para adicionar HPF a gasolina Premium.

Por lo tanto se procedió a realizar los cálculos de diseño de las válvulas de control de flujo. Se sabe que las válvulas de control suelen ser del mismo o un tamaño menor que el tubo de corriente arriba, pero nunca más grande. Las válvulas de control son de menor tamaño que el tubo cuando hay que adsorber grandes diferencias de presión.

### **6.2.1. Válvula de Control para Adición de Butano a Gasolina Premium.**

Para el caso de la corriente de butano, los resultados presentados en la *Tabla 5.18*, muestran que para la adicción del butano a la corriente de gasolina Premium, se necesita instalar una válvula de control de 1 pulgada tipo globo de un asiento. Se seleccionó el tipo de válvula de globo por que tiene un rango de operación menor, lo cual la hace mas precisa. Esta es la válvula más usada en las aplicaciones de refinería, aparte de ser bastante

económica, ofrece buena precisión en el control y sirve para el caso de cierre hermético que se necesita en la corriente de butano.

El diseño de una válvula de control esta en dependencia del coeficiente de válvula calculado  $C_v$ . Para todo diseño de válvula de control se tiene que realizar el cálculo del  $C_v$  para tres flujos diferentes, flujo mínimo, flujo normal o promedio y flujo máximo que deberá controlar la válvula. Para el FICV-11-19 los  $C_v$  calculados se muestran en la *Tabla 6.1*.

**Tabla 30** *Tabla 6.1.  $C_v$  Calculado para la Válvula de Control FICV-11-19.*

	Flujo Mínimo	Flujo Normal	Flujo Máximo
Flujo másico (lb/h)	125.95	425.07	1,416.90
$C_v$ calculado	0.0313	0.1057	0.3523
$C_v$ incluyendo el factor 80%	0.0391	0.1321	0.4403
Tamaño de válvula seleccionado	1	1	1
$C_v$ de la válvula seleccionada	15	15	15

Luego, se agregó un 20% de sobre diseño al valor de  $C_v$  calculado, y se seleccionó la válvula con el  $C_v$  más aproximado al calculado con el 20% de sobre diseño.

Para el caso de las válvulas de control de tipo globo de un asiento, se tiene que el rango de operación o relación entre  $C_v$  seleccionado y  $C_v$  calculado con el flujo mínimo, debe ser de 8. Sin embargo, el rango de operación que se obtuvo como resultado fue de 479, seleccionando una válvula de control con un  $C_v$  de 15. Igual que en el caso anterior, esto quiere decir que la válvula seleccionada es muy grande para controlar el flujo mínimo, o que el rango de operación es muy amplio y que se requieren dos válvulas de control, una para bajo flujo y otra para flujos mayores. Sin embargo, los fabricantes pueden ofrecer una válvula de control con un  $C_v$  menor que cumpla con la especificación de rango de operación de 8, o pueden reducir el puerto de la válvula.

### **6.2.2. Válvula de Control para Adición de Butano a Gasolina Regular.**

Para el caso de la corriente de butano, los resultados presentados en la *Tabla 5.20*. Muestran que para la adicción del butano a la corriente de gasolina Regular, se necesita instalar una válvula de control de 1 pulgada tipo globo de un asiento. Las razones de su selección ya fueron descritas anteriormente.

El cálculo del  $C_v$  para tres flujos diferentes, flujo mínimo, flujo normal y flujo máximo que deberá controlar el FICV-11-20 se presentan en la *Tabla 6.2*.

**Tabla 31** *Tabla 6.2. Cv Calculado para la Válvula de Control FICV-11-20.*

	Flujo Mínimo	Flujo Normal	Flujo Máximo
Flujo másico (lb/h)	125.95	425.07	1,416.90
Cv calculado	0.0343	0.1158	0.3859
Cv incluyendo el factor 80%	0.0429	0.1447	0.4824
Tamaño de válvula seleccionado	1	1	1
Cv de la válvula seleccionada	15	15	15

Se agregó un 20% de sobre diseño al valor de Cv calculado, y se seleccionó la válvula con el Cv más aproximado al calculado con el 20% de sobre diseño.

También, se tiene que el rango de operación que se obtuvo como resultado fue de 437.3, seleccionando una válvula de control con un Cv de 15. Sin embargo, los fabricantes pueden ofrecer una válvula de control con un Cv menor que cumpla con la especificación de rango de operación de 8, o pueden reducir el puerto de la válvula.

Por otro lado, los resultados del diseño de los plato de orificio FIC-119 & FIC-120, para la medición del flujo del butano a la corriente de gasolina Premium y Regular se muestran en la *Tabla 5.21*, los cuales son: el diámetro del orificio (0.50711 in) y la proporción d/D (0.483422). La base del diseño es la proporción d/D, esta debe estar en un rango de 0.3 a 0.7. La proporción óptima debe ser 0.65, para plato de orificio nuevos. Para ambos casos se tuvo que reducir la proporción d/D con respecto al óptimo, debido a que se necesitaba ampliar el rango de lectura de los platos de orificio. Sin embargo, siempre se encuentra dentro del rango permitido.

### *6.2.3. Válvula de Control para enviar Butano a Tanques de Almacenamiento.*

Para el caso de la corriente de butano, los resultados presentados en la *Tabla 5.23*. Muestran que para controlar la presión de butano a las gasolinas y enviar el exceso de la corriente a tanque de almacenamiento, se necesita instalar una válvula de control de 1 pulg tipo globo de un asiento. Las razones de su selección ya fueron descritas anteriormente.

El cálculo del Cv para tres flujos diferentes, flujo mínimo, flujo normal y flujo máximo que deberá controlar el PICV-11-3V se presentan en la *Tabla 6.3*.

**Tabla 32** *Tabla 6.3. Cv Calculado para la Válvula de Control FICV-11-3V.*

	Flujo Mínimo	Flujo Normal	Flujo Máximo
Flujo másico (lb/h)	809.68	2,172.59	3,149.54
Cv calculado	0.3727	1	1.45
Cv incluyendo el factor 80%	0.4659	1.25	1.812
Tamaño de válvula seleccionado	1	1	1
Cv de la válvula seleccionada	15	15	15

Se agregó un 20% de sobre diseño al valor de Cv calculado, y se seleccionó la válvula con el Cv más aproximado al calculado con el 20% de sobre diseño. Válvula selecciona Cv de 15.

También, se tiene que el rango de operación que se obtuvo como resultado fue de 40.24, seleccionando una válvula de control con un  $C_v$  de 15. Sin embargo, los fabricantes pueden ofrecer una válvula de control con un  $C_v$  menor que cumpla con la especificación de rango de operación de 8, o pueden reducir el puerto de la válvula.

#### 6.2.4. *Válvula de Control para Adición de HPF a Gasolina Premium.*

Para el caso del HPF, los resultados presentados en la *Tabla 5.25* muestran que para la adicción del HPF a la corriente de gasolina se necesita instalar una válvula de control tipo Jaula (Cage) de 2 pulg. Primeramente, se realizó el diseño de la válvula de control seleccionando una válvula tipo globo de un solo asiento, el resultado fue una válvula de globo de 3 pulgadas, la cual es mas grande que el diámetro de la tubería donde se piensa instalar. Por lo tanto, se seleccionó una válvula de control de tipo Jaula (Cage) debido a que esta válvula de control es de menor tamaño que la válvula de tipo globo de un solo asiento y de mayor capacidad de flujo, lo cual satisface la necesidad lo requerido por el sistema de tuberías de HPF.

Al igual que en el caso anterior se tuvo que realizar el cálculo del  $C_v$  para tres flujos diferentes, flujo mínimo, flujo normal o promedio y flujo máximo que deberá controlar la válvula. Los  $C_v$  calculados para esta válvula se muestran en la *Tabla 6.4*. los siguientes:

**Tabla 33** *Tabla 6.4.  $C_v$  Calculado para la Válvula de Control FICV-11-18.*

	Flujo Mínimo	Flujo Normal	Flujo Máximo
Flujo másico (lb/h)	6,365.44	19,096.32	27,586.02
$C_v$ calculado	2.112	6.335	9.152
$C_v$ incluyendo el factor 80%	2.64	7.919	11.44
Tamaño de válvula seleccionado	2	2	2
$C_v$ de la válvula seleccionada	35	35	35

Posteriormente, se debe agregar un 20% de sobre diseño al valor de  $C_v$  calculado, y luego se tiene que seleccionar la válvula con el  $C_v$  mas aproximado al calculado con el 20% de sobre diseño.

Otro factor importante es el rango de operación de la válvula. Este rango de operación está en dependencia del  $C_v$  calculado con el flujo mínimo y el  $C_v$  seleccionado de la válvula de control, para las válvulas de control de tipo jaula se tiene que el rango de operación o relación entre  $C_v$  seleccionado y  $C_v$  calculado con el flujo mínimo debe ser de 10. Sin embargo, el rango de operación que se obtuvo como resultado es de 16.57, al seleccionar una válvula de control con un  $C_v$  de 35, mucho mayor al recomendado de 10. Esto quiere decir que la válvula seleccionada es muy grande para controlar el flujo mínimo, o que el rango de operación es muy amplio y que se requieren dos válvulas de control una para bajo flujo y otra para flujos mayores. Sin embargo los fabricantes pueden ofrecer una válvula de control con un  $C_v$  menor que cumpla con la especificación de rango de operación de 10.

Para que la válvula de control realice su función debe tener la información del flujo que esta pasando a través de ella, y para esto se diseño un medidor de flujo de plato de orificio,

que se ubica antes de la válvula. Se seleccionó el plato de orificio como medidor de flujo, debido a que son los más económicos, tanto en la compra inicial como el mantenimiento y operación del mismo, además se obtiene una medición de flujo muy precisa, si se realizan las calibraciones y mantenimientos adecuados. Adicionalmente, se cuenta con una gran experiencia en la instalación y manejo de esta instrumentación por parte de refinería.

Los resultados obtenidos para el diseño del plato de orificio (FIC-118), mostrados en la *Tabla 5.26* son: el diámetro del orificio (1.323026 pulgadas) y la proporción  $d/D$ , (0.641522). La base del diseño es la proporción  $d/D$ , esta debe estar en un rango de 0.3 a 0.7. La proporción óptima debe ser 0.65 para plato de orificio nuevos. Como se puede observar el FIC-118 está correctamente diseñado acorde a las guías de diseño de la compañía.

## **6.2. ANALISIS DE RELACIÓN BENEFICIO COSTO.**

Se realizaron los cálculos de los beneficios en base a la cantidad monetaria que se dejó de percibir debido a regalos de calidad en RON y RVP para las gasolinas Premium y Regular en el año 2005.

Para la determinación de los beneficios se requirió del apoyo de la parte de logística de la refinería Esso Standard Oil S.A. los cuales tienen la información de los precios del crudo, los costos de producción de las gasolinas y butano, el monitoreo de regalos de calidad por RON y RVP, diferencias de previos entre las gasolinas y butano, los volúmenes de ventas de estos productos.

Una vez que se tienen los datos de los beneficios de año 2005 (dinero que no se ha percibido por regalos de calidad en RON y RVP), los cuales se muestran en la *Tabla 5.27*. Estos fueron convertidos a un valor presente mediante la *Ecuación 3.28* que se encuentra en el marco teórico.

Para la determinación de la tasa de incremento utilizada en la fórmula anterior, se utilizó la tasa de incremento en los precios del crudo (2003-2006). La cual es de 11.836%, esta se determinó mediante la *Figura D.7* que se muestra en el *Apéndice D*.

Debido al incremento en los precios del petróleo a nivel mundial, los precios de las gasolinas Premium y Regular se han incrementado de igual manera. También, la diferencia entre los precios de las gasolinas y el butano se ha incrementado en gran manera. Es debido a esto que se hace necesario adicionar todo el volumen posible de butano a las gasolinas hasta que la especificación de RVP (10 psi) lo permita. Esto con el objetivo de no regalar calidad en los productos de gasolinas (menor valor de RVP).

Así mismo los cálculos de los costos de todo el proyecto fueron determinados a través de cotizaciones de las válvulas de control y sistema de control, precios de compra de los accesorios en bodega, tubería, costos de mano de obra, establecidos por el departamento de mantenimiento etc. todos los soportes de costos de materiales y mano de obra pueden ser encontrados en el *Apéndice D*.



Posteriormente se realizó el cálculo de la relación Beneficio Costos, la cual nos da un resultado de 6.94. Esto muestra que el proyecto es sumamente atractivo. Ya que se obtendrán grandes beneficios con una inversión relativamente pequeña.

Todo esto demuestra que la realización de este trabajo era necesaria para resolución del problema de especificación de RON y RVP que se estaban presentando en las gasolinas Premium y Regular. También se identificó que se tendrían mayores ganancias adicionando la mayor cantidad de butano a las mezclas de gasolinas debido a la creciente brecha en los precios de las gasolinas y el butano. Esto justifica aun más el proyecto de automatización del sistema de mezclado en la producción de gasolinas.

Por el lado laboral y del personal responsable de la producción de gasolinas, se lograría reducir el estrés y carga de trabajo que se genera con el reprocesamiento de los productos que se encuentran fuera de especificación, la re-elaboración en los planes de producción y ventas.

Por lo tanto, la implementación de este trabajo es de suma importancia si se quiere producir gasolinas Premium y Regular en las cantidades requeridas y que cumplan con la especificación de RON y RVP sin regalos de calidad, ni demoras, ni re-procesos de productos, sin estrés laboral. Y por sobre todo generando buenas ganancias para la compañía.

## **VII. CONCLUSIONES.**

El proyecto de automatización del sistema de mezclado para la producción de gasolinas requirió de la evaluación técnica del sistema actual de tuberías, mediante el cálculo de la caída de presión de las cuatro secciones en las que fue dividido el sistema total. El análisis de sistema determinó que únicamente la sección de tuberías de la corriente de butano a gasolinas Premium y Regular se encontraba sub-dimensionada (alta caída de presión, 1.4683 psi/ 100 pies de tubería) y con falta de espacio adecuado para la instalación de las válvulas de control requeridas para el control de los flujos. Esto pudo ser determinado mediante la evaluación cualitativa y cuantitativa del sistema actual de tuberías.

Técnicamente, la automatización del sistema de mezclado para la producción de gasolinas Premium y Regular dentro de los parámetros de calidad RON y RVP requiere de la instalación de:

- Nueva tubería para la sección de butano al sistema de mezclado. El diámetro de la nueva tubería debe ser 1 pulgada para cumplir con la especificación de 0.40 psi/100 pies de tubería y dimensionando las válvulas de control para la adición de butano a gasolinas.
- Tres válvulas de control de flujo: FICV-11-19, control de flujo de butano a gasolina Premium; FICV-11-20, control de flujo de butano a gasolina Regular y FICV-11-18, control de flujo de HPF a gasolina Premium.
- Tres medidores de flujo (platos de orificio) para cada una de las válvulas de control de flujo, estos son: FIC-119, indicador de flujo de butano a gasolina Premium; FIC-120, control de flujo de butano a gasolina Regular y FIC-118, control de flujo de HPF a gasolina Premium.
- Una válvula de control de presión: PICV-11-3V, control de presión de butano a gasolinas y exceso a tanques y un manómetro local para la indicación de presión.

Por último el proyecto de automatización del sistema de mezclado representa un atractivo económico, ya que la relación Beneficio Costo es 6.94. La cual determina que el proyecto es económicamente viable (bajo costo) y con buen incentivo económico (alto beneficio).

## VIII. RECOMENDACIONES.

Después de haber realizado la evaluación de las dimensiones de tuberías del sistema de mezclado para la producción de gasolinas. Además, de haber diseñado las válvulas de control para la automatización del sistema de mezclado. Se proponen las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda que las válvulas de control e instrumentación nuevas sean instaladas durante un paro de planta, por factores de seguridad al momento de realizar las soldaduras. En el *Apéndice F* se muestran algunas matrices de riesgos previstas antes de realizar los trabajos.
- Se recomienda comprobar el funcionamiento de las válvulas de control nuevas una vez instaladas, así como también es recomendable realizar la sintonía de los lazos de control por parte del ingeniero de aplicaciones de refinería.
- Se recomienda que durante y después de la instalación de las tuberías, válvulas de control e instrumentación, los trabajos sean verificados por los ingenieros inspectores de equipos.
- Se recomienda que se elabore una pantalla en el sistema de control digital (DCS por sus siglas en inglés) en donde se presenten todas las válvulas de control del sistema de mezclado de las cuatro corrientes Butano, HPF, LPF y LVN. Esto facilitará el trabajo del tablerista de procesos al tener los lazos de control en una misma pantalla.
- Es necesario que el responsable del proyecto realice un entrenamiento al personal de procesos y instrumentación, acerca de cómo va a funcionar el sistema de mezclado automatizado, los objetivos que se esperan alcanzar con este sistema.

## **IX. NOMENCLATURA.**

$C$	Coefficiente de descarga. (Adimensional).Eq. (3.13).
$c$	Tolerancia total en pulg. (mm) para corrosión y erosión, pero no es la tolerancia de fabricación.
$C_f$	Factor de flujo critico. Adimensional.
$C_v$	Coefficiente de flujo ó índice de capacidad que señala el caudal de agua a 60 °F, en gpm, que pasaran por la válvula totalmente abierta, con una diferencia de presión de 1 psi entre las bridas de entrada y salida, es decir que si $S=1$ y $y=1$ entonces, $C_v=Q$ .
$C_{vc}$	Coefficiente de válvula calculado
$D$	Diámetro de la tubería, ft (m).
$D_o$	Diámetro exterior de la tubería, pulg. (mm).
$d$	Diámetro del productora del diferencial de presión (pulg.) ó (mm). Eq. (3.13)
$E$	Factor longitudinal de unión ASME B31.3, Tabla 302.4.3.
$F$	Fricción o pérdida de la cabezal, ft lb <sub>f</sub> /lb <sub>m</sub> (kPa*m <sup>3</sup> /Kg.)
$F_a$	Factor de corrección por expansión térmica. (pulg. /pulg. F) o (mm/mm C). Eq. (3.13)
$f$	Factor de fricción de Fanning, adimensional.
$g$	Aceleración de gravedad, ft/s <sup>2</sup> (el m/s <sup>2</sup> )
$g_c$	Constante Dimensional, 32.174 ft lb <sub>m</sub> / lb <sub>f</sub> s <sup>2</sup> (1.0 kg m/N s <sup>2</sup> )
$h_w$	Presión Diferencial. (pulg. H <sub>2</sub> O a 60 F y 14.696 psia, 32. 174 ft/s <sup>2</sup> ) ó (mm. H <sub>2</sub> O a 40 °C, 1.03361 Kg/cm <sup>2</sup> , 9.8066 m/s <sup>2</sup> ). Eq. (3.13).
$K_{x1}$	1/144 (sistema inglés), 10-3 (sistema métrico). Eq. (3.4)
$K_{6a}$	1/144 (sistema ingles); 10-3 (sistema métrico). Eq. (3.5)
$K_{6b}$	6.94*10-3 (sistema ingles); 9.81*10-3 (sistema métrico). Eq. (3.6)
$K_8$	1.69*10-4 (sistema inglés); 7.83*10-4 (sistema métrico). Eq. (3.10, 3.11,3.12)
$K_{11}$	144. (Sistema inglés); 10-3 (sistema métrico). Eq. (3.3)
$K_{12}$	1.0 (sistema inglés); 10-3 (sistema métrico). Eq. (3.3)
$L$	Longitud de la tubería recta ft, (m).
$N_{Mp}$	Factor de conversión 358.9268 para lb/h (sistema ingles). Eq. (3.13)
$N_{Mp}$	Factor de conversión 162.8065 para kg/h (sistema métrico). Eq. (3.13)
$P$	Presión interna de diseño psig (kPa).
$P_c$	Presión critica, psia.
$P_v$	Presión de vapor, psia.

$Q$	Caudal gpm (dm <sup>3</sup> /s).
$q_m$	Flujo másico. (lb/h) o (Kg./h). Eq. (3.13)
$S$	Gravedad específica, adimensional.
$S_t$	Esfuerzo permitido, psi (MPa).
$t$	Grosor mínimo de a presión de diseño, pulg. (mm).
$t_m$	Grosor mínimo de la tubería para satisfacer los requerimientos de presión, más las tolerancias de corrosión y erosión, pulg. (mm). La tolerancia dimensional de los fabricantes para el grosor de la pared del tubo es de 12.5%. El grosor mínimo es de 87.5 % del valor nominal.
$t_n$	Grosor de la pared, pulg. (mm).
$V$	Velocidad del fluido, ft/s (m/s).
$Y_1$	Factor de expansión de gas (para vapores hidrocarburos o vapor de agua, Adimensional). Eq. (3.13).
$z$	Elevación, ft (m).
$z_1, z_2$	Elevación en la entrada y a la salida de la tubería, ft (m).
$\Delta z$	Cambio en la elevación, ft (m).
$\frac{\Delta(V^2)}{2}$	Cambio de la energía cinética en el fluido, ft <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ).
$\Delta P$	Cambio de Presión, lbf/pulg <sup>2</sup> (kPa). Caída de presión por fricción, lbf/pulg <sup>2</sup> (kPa).
$(\Delta P)_e$	Caída de presión debido a cambio en elevación, psi (kPa).
$\alpha$	Constante que depende del perfil de velocidad ( 1.1 para el flujo turbulento, 2.0 para flujo laminar).
$\beta$	Proporción $\beta$ (d/D). Adimensional. Eq. (3.13)
$\rho$	Densidad, lbm/ft <sup>3</sup> (Kg /m <sup>3</sup> )
$\rho_{f1}$	Densidad a las condiciones de flujo. (lb/ft <sup>3</sup> ) ó (Kg/m <sup>3</sup> ). Eq. (3.13)

## **X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.**

1. ASTM. George V. Dyroff. 2003. Manual on Significance of Tests for Petroleum Products. Seventh Edition. USA. Chapter 4.
2. Comité de Operaciones Seguras SOC. 2001. “Manual de operaciones unidad de procesos”. Esso Standard Oil S.A. Managua, Nicaragua. Sección I. pp. 1-20.
3. ExxonMobil Design Practices. 2001. “Instrumentation Basic Concepts”, Section XII-A. Fairfax VA, USA.
4. ExxonMobil Design Practices. 2003. “Fluid Flow. Single-Phase Liquid Flow”, Section XIV-B. Fairfax VA, USA.
5. Fisher. 1977. Control Valve Handbook. Second edition. Fisher Controls International, Inc. U.S.A.
6. Greene Richard W. 1992. “Válvulas selección, uso y mantenimiento”. McGraw-Hill Inc. USA. Sección I. pp 1-27. Sección III. pp. 149-180.
7. Ibáñez Brambila, Berenice. 1990. Manual para la elaboración de tesis, segunda edición. México, Trillas-CNEIP.
8. Leland Blank. 2004. Ingeniería Económica, 5ta edición. McGraw-Hill. Capitulo 5, 6 y 9.
9. UNI-FIQ. 2005. instructivo para la realización del trabajo de diploma en la facultad de ingeniería química. Managua, Nicaragua.

## **XI. APENDICES.**

***APENDICE A.***  
***DEFINICIONES***  
***GENERALES Y TABLAS***  
***PARA LA EVALUACION***  
***DEL SISTEMA DE***  
***TUBERIAS.***



## **Definiciones Generales.**

*Diámetro hidráulico equivalente,  $d_{eq}$* : Es una longitud característica que define el tamaño de una sección no circular. Cuando se calculan los factores de fricción para un flujo totalmente turbulento en una sección no circular,  $d_{eq}$  reemplaza el diámetro de sección circular,  $d$ , en todas las ecuaciones relevantes. Para un flujo laminar, los resultados para los factores de fricción han sido obtenidos de consideraciones teóricas y de igual manera estudios experimentales y/o teóricos deben ser realizados para obtener los factores de fricción para una sección no circular de interés.

*Longitud equivalente,  $L_{eq}$* : es la longitud de una tubería recta que daría la misma caída de presión que una válvula o accesorios del mismo diámetro nominal bajo las mismas condiciones de flujo.

*Factor de fricción Fanning,  $f$* : factor empírico en la ecuación de Fanning para caídas de presión en tuberías rectas. Este factor es función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería,  $\varepsilon/d$ . Para una clase de material de tubería dada, la rugosidad relativa es relativamente independiente del diámetro de la tubería.

*Cabezal*: unidad de medida que expresa presión en términos de altura de fluido requerido para producir un nivel correspondiente de presión estática. Usando este concepto, también se hace posible definir la velocidad del cabezal como la altura de fluido que produce una presión igual a la presión estática, la fuerza por unidad de área requerida para detener el abruptamente el fluido.

*Flujo laminar o viscoso*: el flujo laminar ocurre cuando las capas adyacentes de fluido se mueven relativamente una sobre la otra, sin que se mezclen entre sí. Este tipo de flujo ocurre en tuberías cuando el número de Reynolds  $< 2,100$ .

*Fluidos Newtonianos*: son fluidos en donde la viscosidad no depende de la proporción de cizallamiento ni del tiempo. La mayoría de los líquidos y todos los gases pertenecen a este grupo.

*Líquidos no-Newtonianos*: son fluidos en donde la viscosidad depende de la velocidad de cizallamiento y/o del tiempo. Ejemplos de este grupo son algunos slurries, emulsiones, y soluciones de polímeros.

*Coefficiente de resistencia de la tubería,  $N$* : es análogo al coeficiente de resistencia,  $K$ , pero es aplicado a la fricción en tuberías rectas.

*Rugosidad relativa*: proporción de la rugosidad absoluta de las paredes de la tubería  $\varepsilon$  entre el diámetro interno  $d$ , en unidades consistentes.

*Coefficiente de resistencia,  $K$* : coeficiente empírico en la ecuación de pérdidas por fricción de válvulas y accesorios. Expresa la pérdida de velocidad de cabezal por fricción para válvulas y/o accesorios. Este coeficiente es usualmente función del diámetro nominal de la tubería.

*Número de Reynolds, Re:* es un numero adimensional que expresa la proporción entre las fuerzas de inercia y la fuerza de la viscosidad en un fluido. El numero de Reynolds para tuberías esta dado por la siguiente expresión:

$$Re = \frac{K_1 d V \rho}{\mu} \quad (A.1)$$

Donde:

- Re : Numero de Reynolds.
- d : Diámetro interno de la tubería, in (mm).
- V : Velocidad lineal del fluido, ft/s (m/s).
- $\mu$  : Viscosidad del fluido, centipoise (Pa\*s).
- $K_1$  : 124 (sistema ingles).
- $K_1$  :  $10^{-3}$ (sistema métrico).

*Velocidad de corte:* es el gradiente de velocidad (cambio en la velocidad de cuerdo a la posición).

*Estrés de corte:* fuerza por unidad de área. La fuerza en la dirección del fluido; área en el plano normal al gradiente de velocidad.

*Velocidad sónica o crítica:* es la velocidad máxima que un gas o mezcla de gas-liquido puede alcanzar en una tubería a una presión dada, sin importar que tan pequeña sea la presión de descarga. Para los gases esta velocidad máxima es igual a la velocidad del sonido a las condiciones locales.

*Golpe de vapor:* es la vibración excesiva en una tubería, la cual ocurre debido a un colapso de grades cantidades de vapor contra una corriente fría de liquido.

*Flujo transitorio:* es el régimen del fluido entre el flujo laminar y el flujo turbulento. En este régimen las fluctuaciones en la velocidad pueden o no existir, y el flujo puede ser laminar y turbulento de forma intermitente. Este tipo de régimen ocurre cuando  $2,100 < Re < 4,000$ .

*Flujo turbulento:* el flujo turbulento ocurre cuando se da la mezcla microscópica de las partículas del fluido en ambas direcciones, de forma perpendicular y en la dirección del fluido. El flujo turbulento se caracteriza por que las partículas del fluido presentan fluctuaciones en movimiento en todas las direcciones. Este régimen ocurre en tuberías industriales cuando  $Re > 4,000$ .

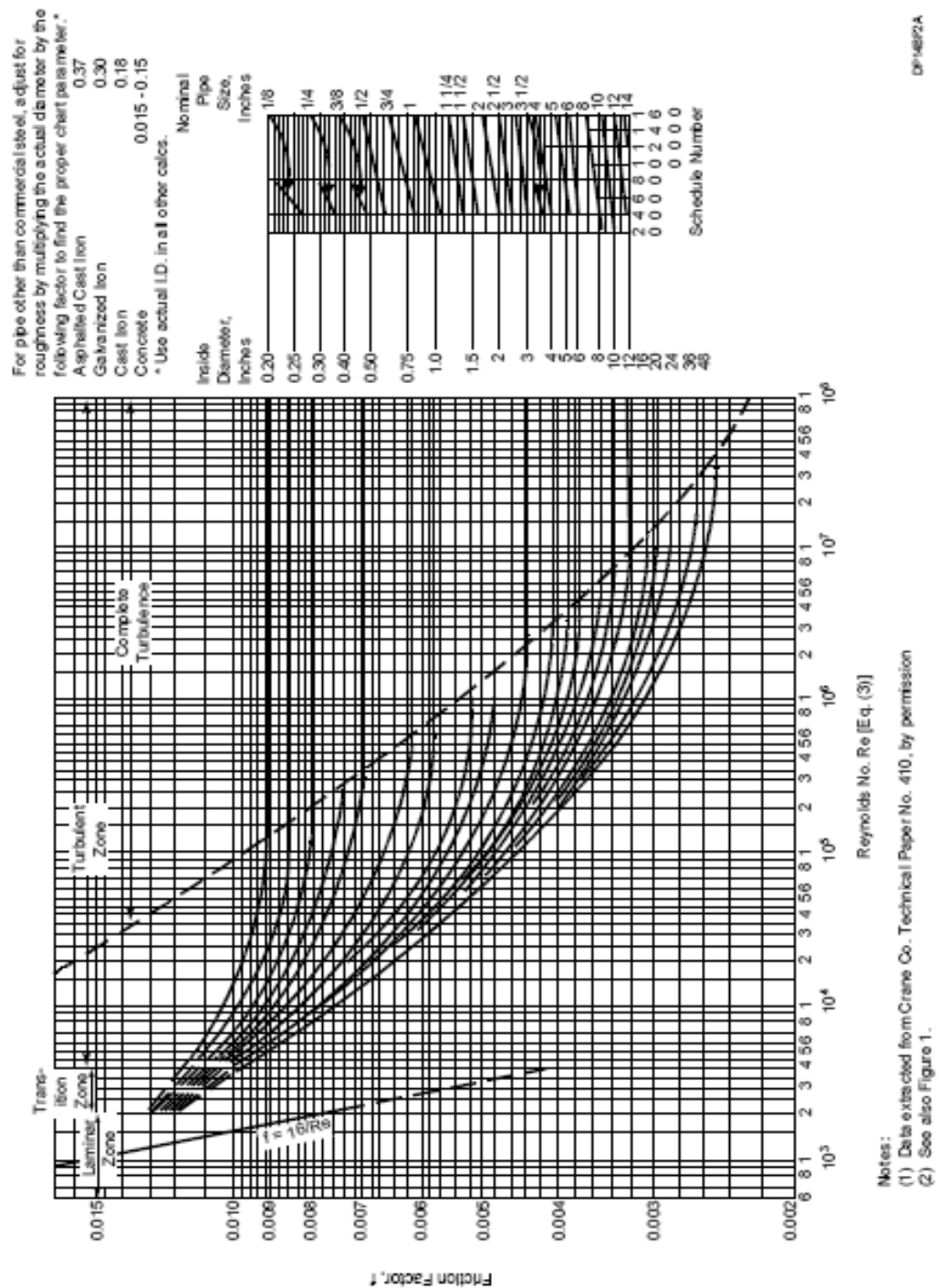
*Columna de agua:* es la presión dinámica que surge como resultado de la transformación repentina de la energía cinética del fluido en movimiento en presión cuando en el fluido es repentinamente detenido. Cerrar una válvula repentinamente puede provocar una columna de agua. La presión ejercida por una columna de agua puede ser suficientemente grande como para romper una tubería, por lo tanto debe ser considerada en el diseño de tuberías.

**TABLA A.1. Base de Diseño para Tuberías de Acero al Carbón Promedio.** *Tomada de las prácticas de diseño para flujo de fluidos en fase líquida. Propiedad de ExxonMobil.*

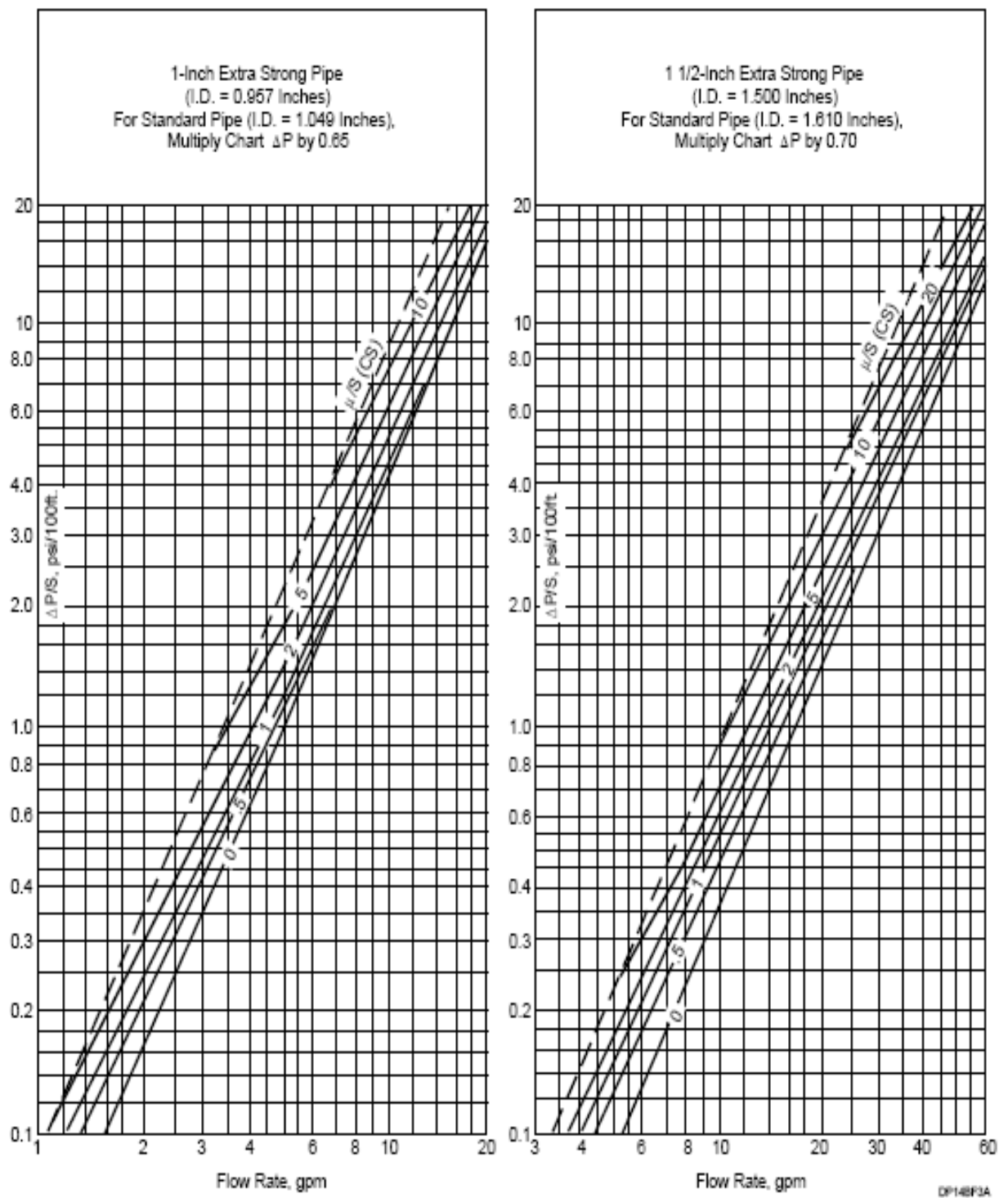
TUBERIAS	Delta de presión promedio psi/100 ft	Delta de presión máximo psi/100 ft	Delta de presión total máximo psi (aprox.)
Líneas de succión de bomba y líneas de descargas por diferencial presión.	0.25	0.40	-
Tuberías para la descarga de bombas (excepto las de alta presión)	1.50	2.00	-
Tuberías para la descarga de bombas de alta presión (700 psig. y superiores)	3.00	4.00	-
Tuberías para vapor (atm & pres., líneas de condensadores de torres)	0.20	0.50	0.5-1.0
Tuberías para gases.	0.20	0.50	4.0-5.0
Tuberías para gases (líneas de espera para expansiones de planta).	-	-	5-10% de la presión disponible
Tuberías para la succión de compresores.	0.10	0.30	0.5-1.0
Tuberías para la descarga de compresores.	0.20	0.50	4.0-5.0
Tuberías para vapor de agua a alta presión (líneas cortas).	0.50	1.00	2.00
Tuberías para vapor de agua a alta presión (líneas largas).	0.10	0.40	5.00
Tuberías para vapor de agua saturado (líneas cortas).	0.20	0.40	1.00
Tuberías para vapor de agua saturado (líneas largas).	0.05	0.10	1.5-2.0
Tuberías para agua (líneas cortas).	1.00	1.50	2.00
Tuberías para agua (líneas largas).	0.25	0.50	5.00
Tuberías para la transferencia de líquidos y líneas para expansiones de planta.	-	-	25.00

**TABLA A.2. Longitud Equivalente de Líneas Típicas de Procesos.** *Tomada de las prácticas de diseño para flujo de fluidos en fase líquida ExxonMobil. Todos los derechos reservados.*

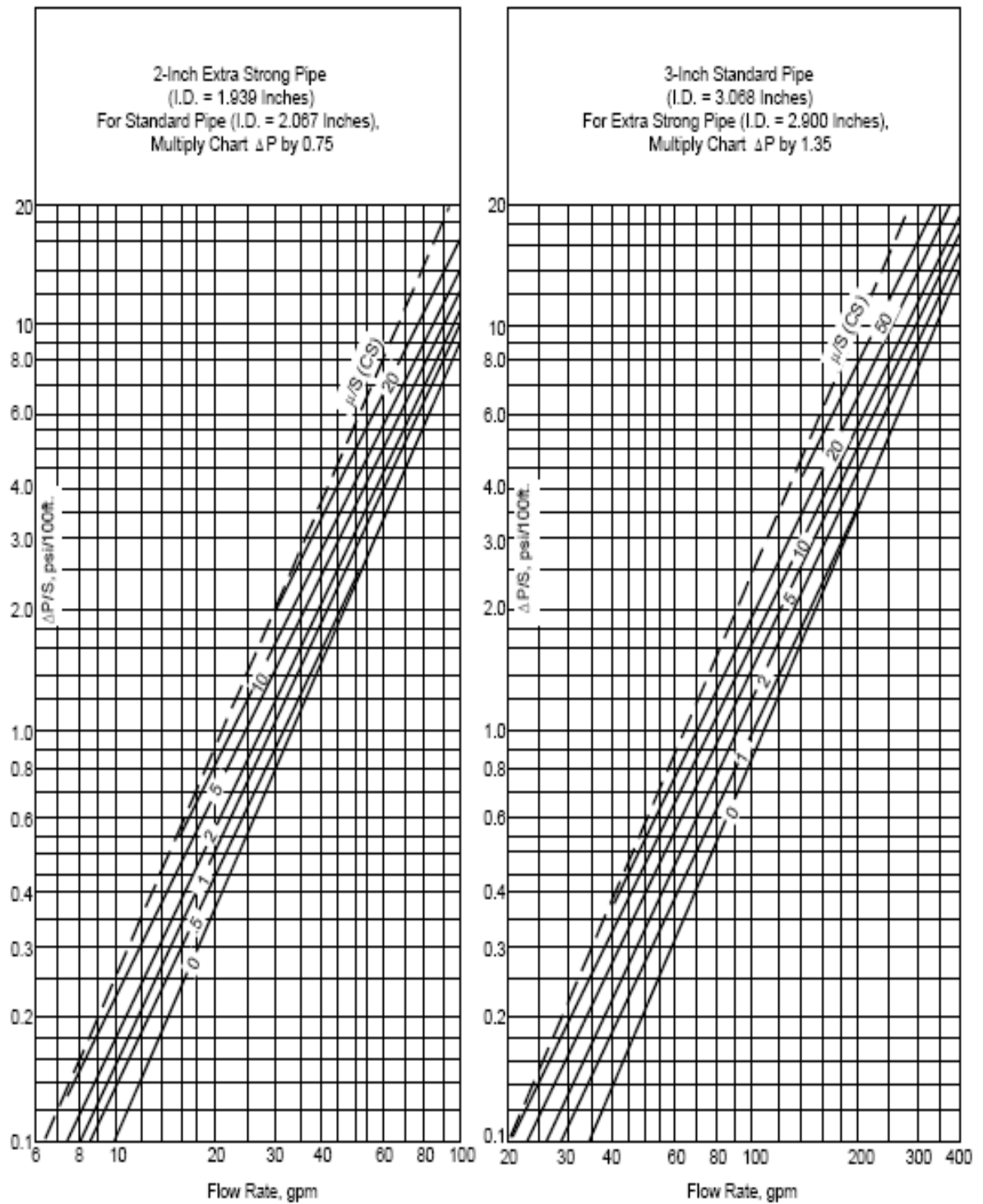
Tuberías	Recorrido	Longitud Equivalente (1)
Succión de Bombas.	Tambores/Válvulas/bombas	32 D + 200 (2)
Succión de Bombas para líneas de retorno en torres.	Tambores/Válvulas/bombas	42 D + 250 (2)
Descargas de Bombas.	Bombas/Válvulas/tuberías.	30 D + 50
	Bombas/Válvulas/Reducción de diámetro.	45 D + 50 (3)
Succión de Compresores.	Tambores/Válvulas/Compresores.	25 D + 150
Descargas de Compresores.	Compresores/Válvulas.	12 D + 150
Intercambiadores de calor.	Válvulas/Intercambiador/Válvulas.	20 D + 150
	Agregar por cada mazo.	10 D + 50
Estación de válvulas de control.	Válvulas/Válvulas de control/Válvulas/tuberías.	20 D + 100
	Válvulas/Válvulas de control/Válvulas/Reducción de diámetro.	30 D + 100 (3)
Hornos.	Válvulas/Horno.	10 D + 100
	Horno/Válvulas.	15 D + 50
Tambores.	Válvulas/Tambores.	10 D + 100
	Tambores/Válvulas.	10 D + 100
Circuitos de expansión.	Válvulas (4).	10 D + 100
Líneas de Transferencia.	Unidad/Unidad.	10 D + 1000 (5)
<b>Notas:</b>		
(1). D es el diámetro nominal en pulgadas.		
(2). Agregar 1 psi (7 kPa) por filtros permanentes.		
(3). Normalmente usado para estimaciones.		
(4). Usar cuando la temperatura del proceso es mayor de 400 F (200 C).		
(5). Verificar los planos de planta para determinar la longitud ya que estos pueden sobrepasar los 1000 ft (300 m).		



**Figura A.1. Factores de Fricción para Tuberías de Acero al Carbón.** *Figura tomada de las prácticas de diseño de Exxonmobil 2003. Todos los derechos reservados.*



**Figura A.2. Caída de Presión de Líquidos en Tuberías Comerciales de Acero al Carbón.** *Figura tomada de las prácticas de diseño de Exxonmobil 2003. Todos los derechos reservados.*



**Fig. A.2. (Cont). Caída de Presión de Líquidos en Tuberías Comerciales de Acero al Carbón.** Figura tomada de las prácticas de diseño de Exxonmobil 2003. Todos los derechos reservados.

**APENDICE B.**  
***DESCRIPCION, DATOS***  
***REQUERIDOS Y***  
***RESULTADOS DE***  
***PEGASYS 6.01e.***



### **Descripción de PEGASYS 6.01e.**

PEGASYS 6.01e. Provee de un ambiente computacional de diseño de equipos, evaluación de sistemas de tuberías y evaluación de equipos, así como aplicaciones para el cálculo propiedades físicas y químicas de corrientes de hidrocarburos. Todo dentro de un ambiente Windows. La organización estructural de PEGASYS 6.01e es igual al explorador de Windows, existen ventanas y carpetas con jerarquía para el almacenamiento de los datos y casos de diseño.

Dentro del ambiente de PEGASYS 6.01e se encuentra una aplicación llamada QUEST/DISTEX para la creación, modificación y manejo de cualquier corriente de hidrocarburos. Esta aplicación cuenta con una extensa base de datos de componentes químicos puros (no solo de hidrocarburos) y sus propiedades físicas y químicas. Para la creación de una corriente de hidrocarburos dentro de QUEST/DISTEX, existen dos formas de hacerlo: 1) Se puede ingresar de forma manual los componentes químicos de una corriente en particular de la cual se conozca su composición mediante una cromatografía (liquida o gas) y 2) La aplicación QUEST/DISTEX puede generar los pseudocomponentes de una corriente de hidrocarburos en particular, ingresando los datos de destilación y especificando el método de destilación utilizado para dicha corriente. Una vez que se ha creado una corriente en particular, ya sea de forma manual o mediante pseudocomponentes, el usuario puede obtener todas las propiedades físicas y químicas para esa corriente, a la temperatura y presión que el usuario desee.

Al igual que QUEST/DISTEX, dentro de PEGASYS 6.01e, se encuentran dos aplicaciones mas, llamadas *Pressure Drop (Caída de Presión)*, y *Control Valve Sizing (Diseño de Válvulas de Control)*.

Con la primera aplicación se pueden realizar evaluaciones de sistemas de tuberías mediante el cálculo de la caída de presión tanto en tuberías rectas como en accesorios. Existen dos métodos de cálculo dentro de la aplicación *Caída de Presión*:

1. Cálculo de la longitud equivalente.
  - Cálculo de la caída de presión en longitud equivalente.
  - Cálculo de flujo volumétrico para una caída de presión dada.
2. Cálculo a través de un sistema de tuberías y accesorios.
  - Se requiere tener un isométrico de tuberías para ingresar todos los componentes del sistema en el orden correcto.

El procedimiento utilizado para realizar los cálculos de caída de presión es el descrito en el marco teórico en 3.3. *Flujo de líquidos a través de tuberías*. Las cuales están incluidas dentro de PEGASYS 6.01e.

Con la segunda aplicación se pueden realizar los diseños de cualquier tipo de válvula de control, esta aplicación determina el tamaño de la válvula de control ( $C_v$ ) a través de cuatro

métodos distintos, dependiendo en que fase se encuentre la corriente que pasará por la válvula de control.

*Método 1: Líquido – Líquido.* Esto significa que la corriente que pasa por la válvula de control entra en fase líquida y que no cambia de fase debido a la caída de presión ejercida por la válvula de control (este es el método normal de cálculo).

*Método 2: Gas/ Vapor ó Vapor/Gas.* Esto significa que la corriente que pasa por la válvula de control entra en fase gaseosa ó vapor y que cambia fase debido a la caída de presión ejercida por la válvula de control. (Método especial de cálculo).

*Método 3: Un solo componente Líquido – líquido/Vapor.* Esto significa que la corriente de un componente puro, que pasa por la válvula de control entra en fase líquida cambia ó no de fase debido a la caída de presión ejercida por la válvula de control. (Método especial de cálculo).

*Método 4: Mezcla de hidrocarburos líquidos – mezcla de hidrocarburos en dos fases líquido/Vapor.* Esto significa que la corriente de hidrocarburos que pasa por la válvula de control entra en fase líquida y que se transforma en dos fases debido a la caída de presión ejercida por la válvula de control. (Método especial de cálculo).

Para este trabajo se utilizó el *método 1* en todos los cálculos de diseño de válvulas de control. La ecuación de diseño que utiliza el *método 1* es la siguiente:

$$C_v = \frac{q}{N_1} \sqrt{\frac{G_f}{(P_1 - P_2)}} \quad (\text{B.1})$$

$$C_v = \frac{w}{N_6 \sqrt{\gamma g_1 (P_1 - P_2)}} \quad (\text{B.2})$$

Donde:

$q$  : Flujo volumétrico (gpm, m<sup>3</sup>/h).

$w$  : Flujo másico (lb/h, kg/h).

$P_1$  : Presión de entrada absoluta (psia, kPa).

$P_2$  : Presión de salida absoluta (psia, kPa).

$G_f$  : Gravedad específica del líquido a las condiciones del fluido.

$\gamma$  : Densidad del líquido a las condiciones del fluido (lb/ft<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup>).

$N_1$  : Constante. 1.0 (sistema ingles. gpm, psia), 0.0865 (sistema métrico. M<sup>3</sup>/h, kPa).

$N_6$  : Constante. 63.3 (sistema ingles. Lb/h, psia, lb/ft<sup>3</sup>), 2.73 (sistema métrico. kg/h, kPa, Kg/m<sup>3</sup>).

El procedimiento utilizado para realizar los cálculos para dimensionar las válvulas de control es el descrito a continuación:

- Calcular el Cv al máximo flujo de diseño.
- Calcular el Cv al mínimo flujo de diseño.
- Seleccionar el tamaño de válvula que cumpla con el Cv calculado en la tabla de Cv de los fabricantes para diferentes tipos de válvulas de control.
- Aumentar el 20% de sobre diseño al Cv calculado a máximo flujo.
- Seleccionar el Cv mayor que más se ajuste al Cv con el 20 % de sobre diseño.
- Calcular el rango de operación de la válvula de control dividiendo el Cv seleccionado anteriormente entre el Cv calculado al mínimo flujo de diseño.
- Comparar resultado con los rangos de operación recomendados por el fabricante para cada tipo de válvula de control.

#### **Datos Requeridos y Resultados generados por PEGASYS 6.01e.**

##### *Creación y manejo de corrientes de hidrocarburos mediante la aplicación de QUEST/DISTEX.*

Cuando se ingresa de forma manual los componentes químicos de una corriente en particular de la cual se conoce su composición mediante una cromatografía se realiza de la siguiente manera:

- Se ingresa a QUEST/DISTEX mediante PEGASYS 6.01e.
- Se selecciona crear nuevo set componentes del menú archivo y se le asigna un nombre.
- Se abre el set de componentes y se introducen los nombres de las sustancias químicas que componen la corriente.
- Una vez creado el set de componentes se introducen el porcentaje en mol (%mol) de cada una de las sustancias químicas que componen el set, y estas componen una corriente específica de la cual se puede disponer para cualquier diseño o evaluación.
- Asignar cantidad de flujo (volumétrico ó másico), temperatura y presión de la corriente para determinar las propiedades físicas y químicas de la sustancia.

Cuando QUEST/DISTEX generara los pseudos-componentes de una corriente de hidrocarburos, se realiza de la siguiente manera:

- Se ingresa a QUEST/DISTEX mediante PEGASYS 6.01e.

- Se selecciona crear nueva corriente de destilación del menú archivo y se le asigna un nombre.
- Se selecciona una de las opciones de la librería de hidrocarburos (hidrocarburos ligeros, pesados, gases, etc.). Si se conoce que la composición de la corriente. Si no se conoce la composición de la corriente entonces se selecciona la opción sin componentes.
- Se abre la corriente de destilación y se introducen los datos de destilación de la corriente, se selecciona el método de destilación ASTM utilizado (para todas las destilaciones de Refinería se utiliza el método ASTM D86), se introduce la gravedad específica o API y la cantidad de flujo (máscico).
- Una vez creada la corriente de destilación, se selecciona la opción de crear pseudos-componentes del menú archivo y se introduce el número de pseudos-componentes deseados para esa corriente.
- Una vez creados los pseudos-componentes, estos se archivan como un set de componentes y una corriente específica generada por la curva de destilación. Al igual que en caso anterior, se puede disponer de la corriente y los pseudos-componentes para cualquier diseño o evaluación de PEGASYS 6.01e.

*Evaluación de sistema de tuberías mediante la aplicación Caída de Presión de PEGASYS 6.01e.*

Para realizar evaluaciones de sistemas de tuberías mediante el cálculo de la caída de presión. Existen dos métodos de cálculo dentro de la aplicación *Caída de Presión*, los datos que se deben introducir para realizar los cálculos son los siguientes:

*Método de cálculo de la longitud equivalente:* Dentro este cálculo existen dos opciones, 1) Cálculo de la caída de presión en longitud equivalente y 2) Cálculo de flujo volumétrico para una caída de presión dada. Para ambas opciones se requieren los mismos datos solo se debe seleccionar una de los dos opciones.

- Una vez que se ha creado y nombrado la evaluación, se requiere poner los límites de presión del sistema a evaluar, por defecto se encuentran como límite inferior 14.696 psia y como límite superior 5000 psia.
- Seleccionar el modo de cálculo, en este caso *Cálculo de la caída de presión en longitud equivalente* y se elige la opción 1 ó 2 arriba mencionadas.
- Se introduce la longitud de tubería recta que se desea evaluar. Por defecto utilizaremos 100 ft.
- Se le introduce la rugosidad del material de la tubería seleccionado el tipo de tubería que se está evaluando.

- Se introduce la longitud de cambio en la elevación del sistema si la hay. Y para el caso que se hay seleccionado la opción 2, se introduce la caída de presión permitida máxima para la determinación del flujo.
- Se introduce el diámetro de la tubería.
- Se introducen los accesorios de la tubería.
- Posteriormente se introducen todos los datos relacionados con el fluido que pasa a través de la tubería a evaluar. Esto se puede hacer de forma manual si se cuenta con todos los datos que requiere la aplicación, o se adjunta la corriente creada en QUEST/DISTEX, si se cuenta con ella, para que los datos sean determinados por la aplicación. Los datos requeridos para el flujo son: flujo másico, densidad del fluido, viscosidad del fluido, presión y temperatura a la que se encuentra el fluido.
- Los resultados generados son: Longitud equivalente de tuberías, accesorios y cambios por elevación; factor de fricción de Fanning; caída de presión por fricción, caída de presión por aceleración, caída de presión por elevación, caída de presión total; presiones, numero de Reynolds, velocidad de flujo, cabezal cinético y potencial todo a la entrada y salida del sistema. Las propiedades del fluido son: presión, temperatura, peso molecular, densidad, entalpía, gravedad específica, capacidad calorífica, viscosidad, conductividad, etc. (Ver copia de los repotes de resultados para este proyecto en Anexos).

*Método de cálculo a través de un sistema de tuberías y accesorios:* dentro de este cálculo se requiere tener un isométrico de tuberías para ingresar todos los componentes del sistema en el orden correcto.

- Una vez que se ha creado y nombrado la evaluación, se requiere poner los limites de presión del sistema a evaluar, por defecto se encuentran como limite inferior 14.696 psia y como limite superior 5000 psia.
- Se debe generar la configuración del sistema de tubería a evaluar, es decir, que se introduce ítem por ítem las tuberías con sus dimensiones, dirección (vertical u horizontal) y diámetros seguida de cada accesorio que tengan la tubería, colocándolos en el orden en que corre el flujo por la tubería.
- Posteriormente se introducen todos los datos relacionados con el fluido que pasa a través de la tubería a evaluar. Esto se puede hacer de forma manual si se cuenta con todos los datos que requiere la aplicación, o se adjunta la corriente creada en QUEST/DISTEX, si se cuenta con ella, para que los datos sean determinados por la aplicación. Los datos requeridos para el flujo son: flujo másico, densidad del fluido, viscosidad del fluido, presión y temperatura a la que se encuentra el fluido.
- Los resultados generados son: Longitud equivalente de tuberías, accesorios y cambios por elevación; factor de fricción de Fanning; caída de presión por fricción,

- Caída de presión por aceleración, caída de presión por elevación, caída de presión total; presiones, número de Reynolds, velocidad de flujo, cabezal cinético y potencial todo a la entrada y salida del sistema. Las propiedades del fluido son: presión, temperatura, peso molecular, densidad, entalpía, gravedad específica, capacidad calorífica, viscosidad, conductividad, etc. (Ver copia de los reportes de resultados para este proyecto en Anexos).

*Selección de válvulas de control mediante la aplicación Válvulas de Control de PEGASYS 6.01e.*

Para realizar los cálculos para dimensionar las válvulas de control, mediante el cálculo del Cv de la válvula. Existen cuatro métodos de cálculo dentro de la aplicación *Válvulas de Control*, 1) *El programa diseña la válvula*, 2) *El usuario selecciona el tamaño de la válvula*, 3) *El usuario especifica el Cv*, 4) *El programa calcula el Cv*. (Para este trabajo se utilizó el método 1.) Los datos que se deben introducir para realizar los cálculos son los siguientes:

- Una vez que se ha creado y nombrado el diseño de válvula a realizar, se requiere seleccionar el tipo de válvula de control que se desea diseñar y la fuente de datos requeridos para la corriente que pasa a través de la válvula de control. Esta fuente puede ser manual ó mediante QUEST/DISTEX.
- Introducir los datos del sistema en donde se instalara la válvula. Estos son: flujo másico (mínimo, normal y máximo), temperatura y presión del fluido, y la caída de presión de diseño que deberá tener la válvula de control.
- Introducir los datos del fluido. Estos son: densidad del líquido, presión de vapor del líquido, fracción de vapor (si la hay). QUEST/DISTEX determina todos estos datos, si se cuenta con la corriente. Dependiendo de la fase en que se encuentre el fluido antes o después de la válvula de control se selecciona el método de cálculo que realiza PEGASYS 6.01e.
- Los resultados generados son: tipo de válvula de control, tipo de corriente y servicio, método de cálculo, Cv de válvula calculado para flujo mínimo, normal y máximo, Cv incluyendo el 20% de sobre diseño, tamaño de válvula seleccionado de acuerdo al Cv y tipo de válvula (tabla de fabricantes), Cv de la válvula seleccionada disponible en el mercado y el rango de operación de la válvula. Las propiedades del fluido son: presión, temperatura, peso molecular, densidad, entalpía, gravedad específica, capacidad calorífica, viscosidad, conductividad, etc.

*Diseño de medidores de flujo (platos de orificio), mediante la aplicación Medidores de Flujo de PEGASYS 6.01e.*

Para realizar el diseño de los medidores de flujo, mediante el cálculo del diámetro del orificio y la relación  $d/D$ . Existen tres métodos de cálculo dentro de la aplicación *Medidores de Flujo*, 1) *Diseño* 2) *Simulación*, 3) *Calibración* .(Para este trabajo se utilizo el método 1.) Los datos que se deben introducir para realizar los cálculos son los siguientes:

- Una vez que se ha creado y nombrado el diseño de medidores de flujo a realizar, se requiere seleccionar el método de cálculo a utilizar en este caso, *Diseño*.
- Seleccionar la base para el flujo (flujo volumétrico a condiciones de operación, a condiciones base 60 F, 14.696 psia ó flujo másico).
- Seleccionar la fuente de datos requeridos para la corriente que pasa a través del medidor de flujo. Esta fuente puede ser manual ó mediante QUEST/DISTEX.
- Introducir los datos de diseño del medidor, seleccionar: tipo de medidor de flujo, características del medidor de flujo, medio donde se va a instalar, material de construcción del medidor de flujo, material de la tubería, diámetro de la tubería.
- Introducir los datos del proceso, seleccionar: Flujo máximo que se desea medir, caída de presión (pulg. de  $H_2O$ ) de diseño para el medidor, temperatura y presión de operación del fluido, viscosidad, densidad, presión de vapor, densidad a condiciones base y peso molecular. QUEST/DISTEX proporciona todos estos datos del proceso si se cuenta con la corriente específica.
- Los resultados generados son: tipo de medidor de flujo, características del medidor de flujo, datos de diseño utilizados, datos de proceso utilizados, diámetro del platillo de orificio, relación  $d/D$ , correlación por expansión térmica, cantidades de flujo a diferentes caídas de presión registradas. Las propiedades del fluido son: presión, temperatura, peso molecular, densidad, entalpía, gravedad específica, capacidad calorífica, viscosidad, conductividad, etc.

**APENDICE C.**  
***CÁLCULOS DEL DISEÑO  
TECNOLOGICO PARA LA  
AUTOMATIZACION DEL  
SISTEMA DE MEZCLADO.***



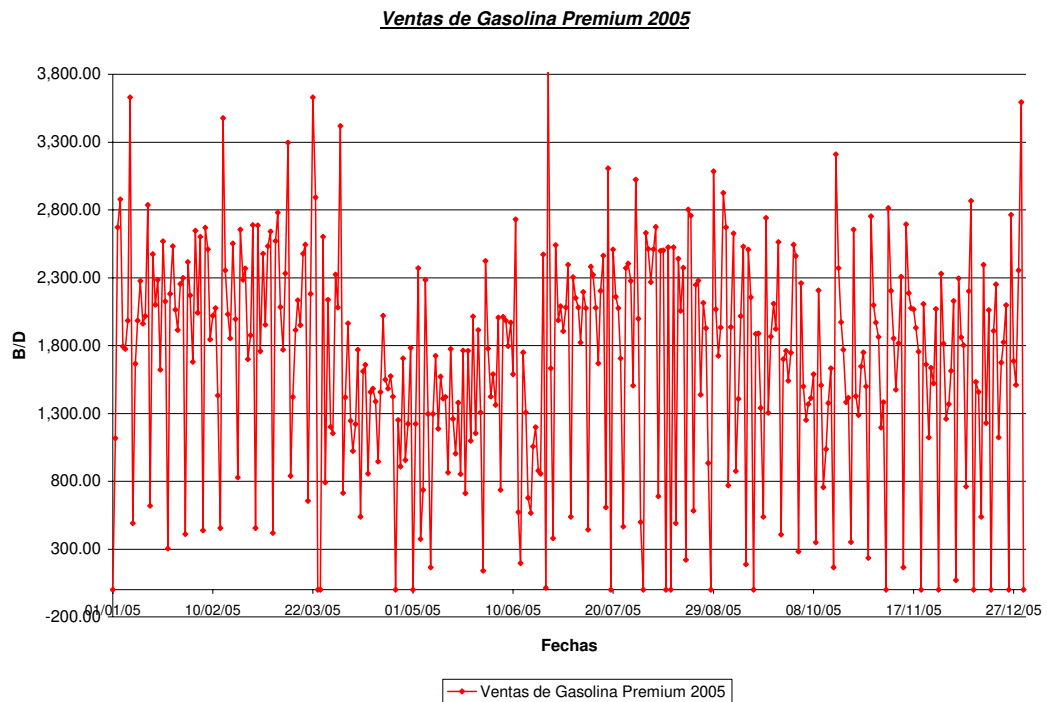
# ***CÁLCULOS DE CAIDA DE PRESION.***

***DISEÑO DE MEDIDORES  
DE FLUJO (PLATOS DE  
ORIFICIO).***

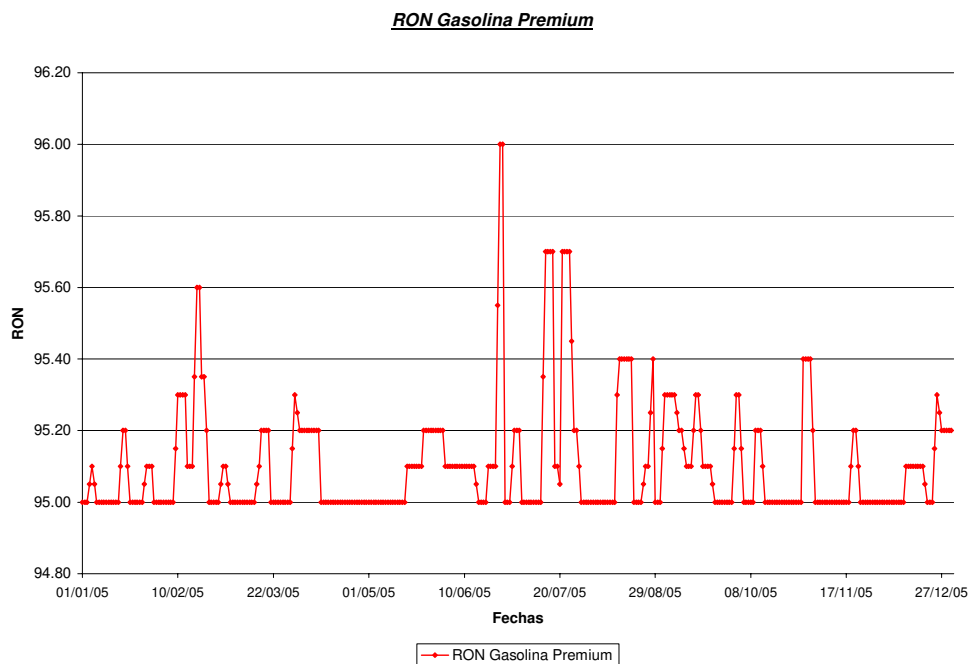
***CÁLCULOS PARA LA  
SELECCIÓN DE  
VALVULAS DE CONTROL.***

**APENDICE D.**  
***ANALISIS ECONOMICO***  
***MEDIANTE RELACION***  
***B/C.***

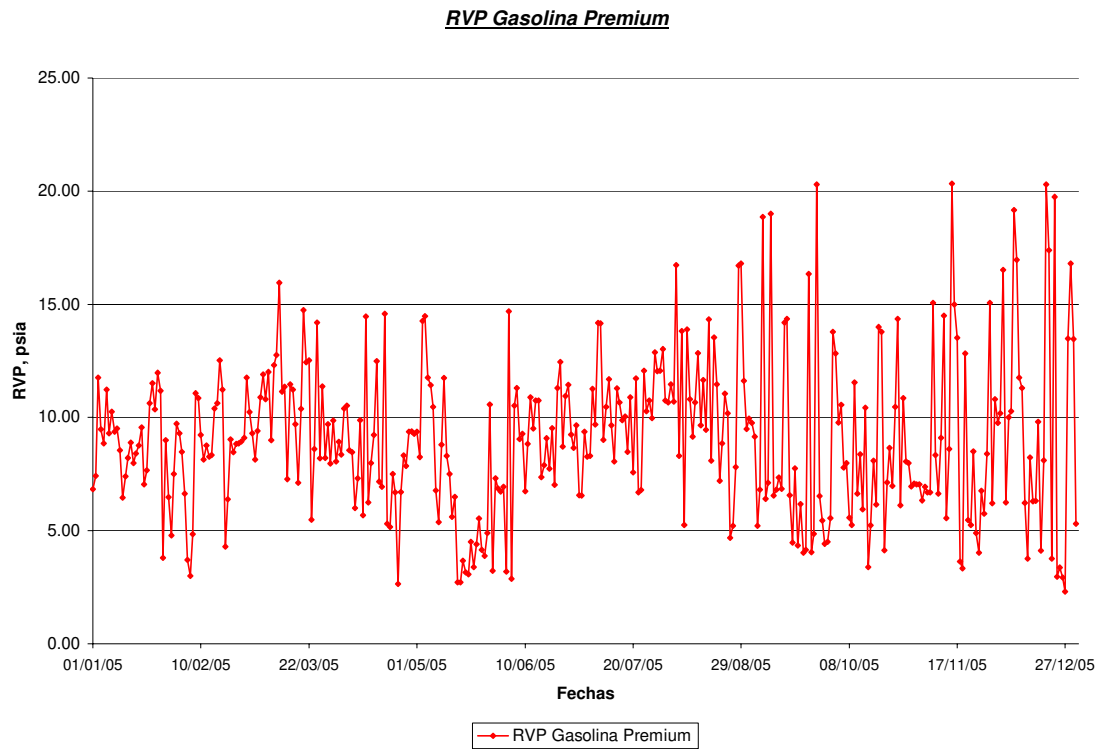
***FIGURAS DEL ANÁLISIS  
ECONOMICO.***



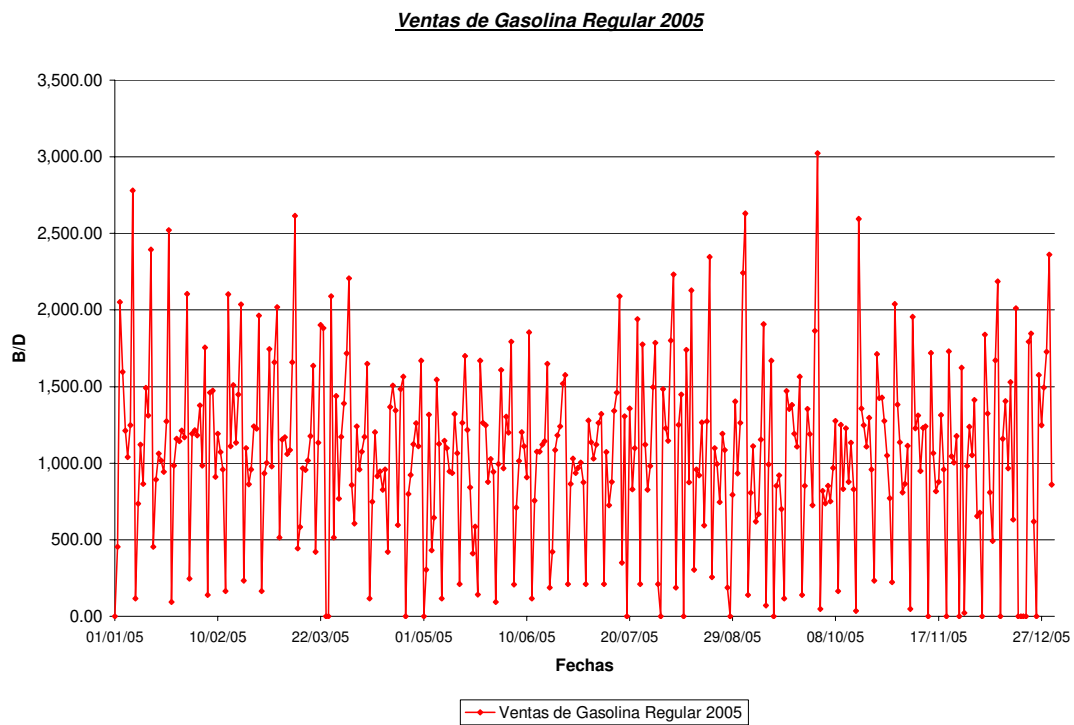
**Figura D.1. Comportamiento de la Demanda de Gasolina Regular Durante 2005.**



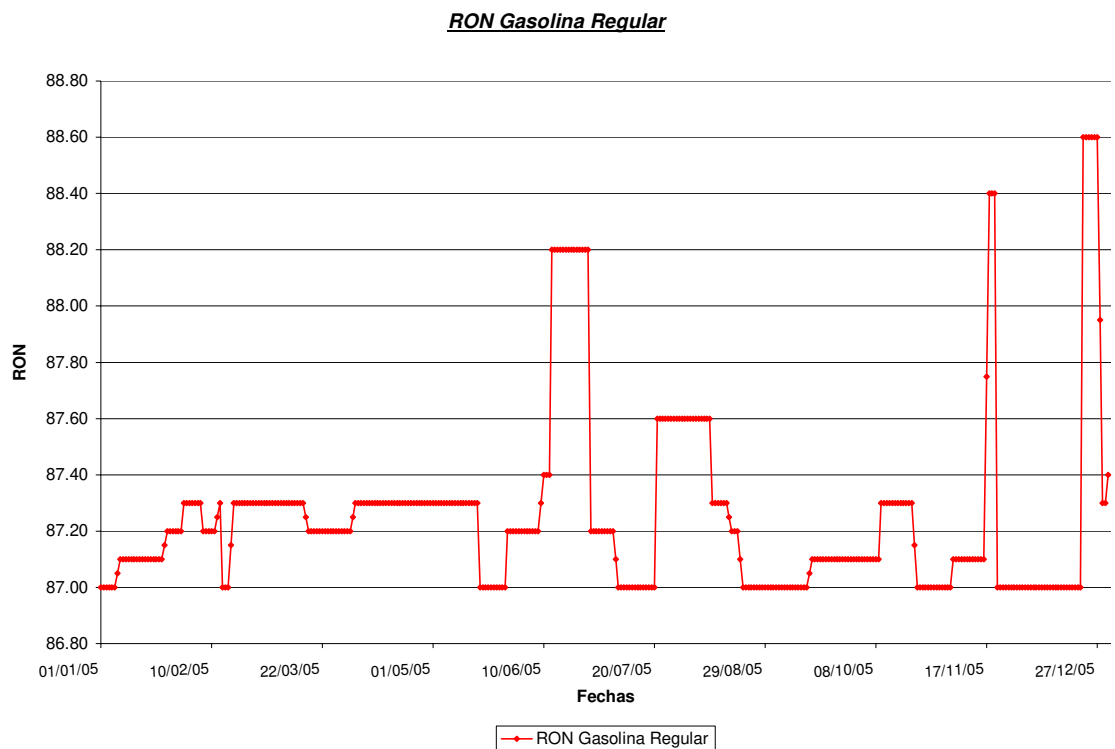
**Figura D.2. Comportamiento del RON de Gasolina Premium Durante 2005.**



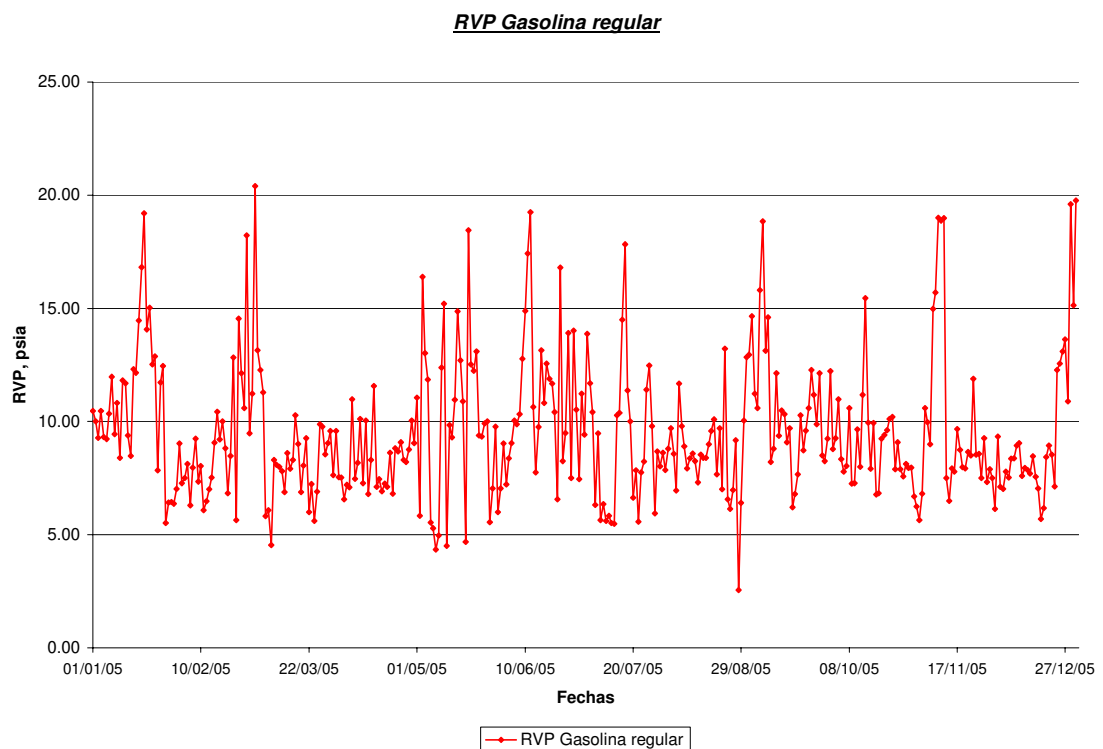
**Figura D.3. Comportamiento del RVP de Gasolina Premium Durante 2005.**



**Figura D.4. Comportamiento de la Demanda de Gasolina Regular Durante 2005.**

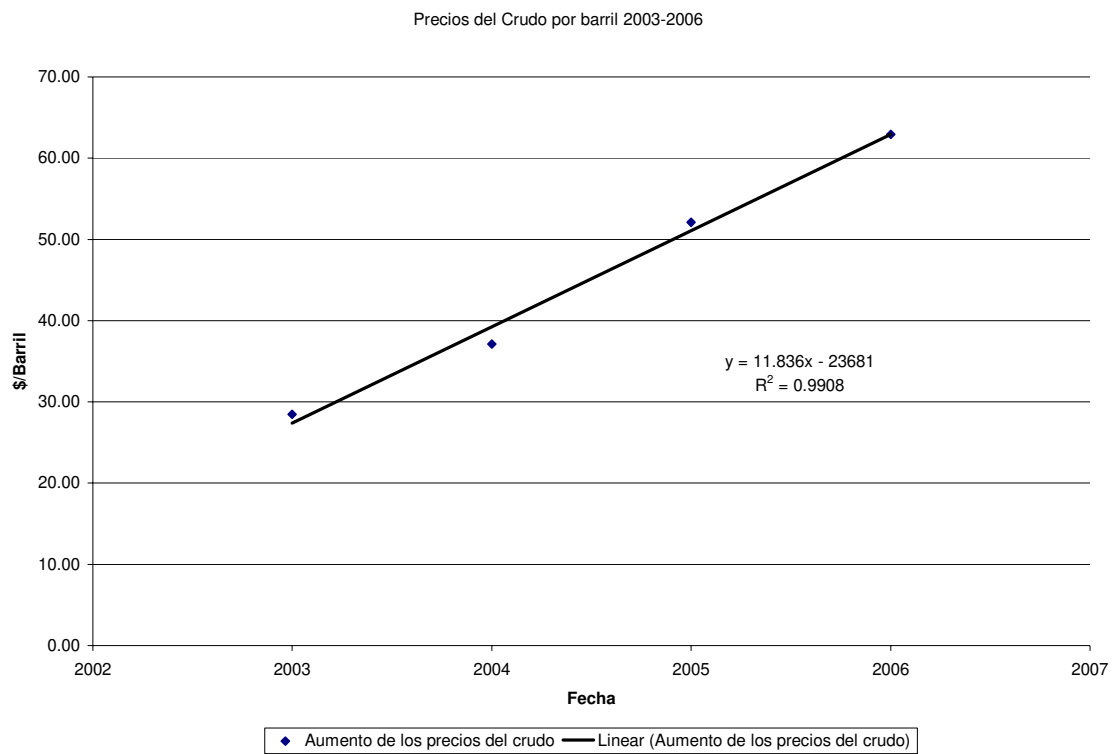


**Figura D.5. Comportamiento del RON de Gasolina Regular Durante 2005.**



**Figura D.6. Comportamiento del RVP de Gasolina Regular Durante 2005.**





**Figura D.7. Calculo de la Tasa de Interés i Basada en el Incremento en los Precios Promedios del Crudo por Barril. (Años 2003-2006).**

***LISTADO DE  
MATERIALES Y COSTOS  
DEL PROYECTO.***

***COTIZACIONES.***

***APENDICE E.***  
***PLANOS DE TUBERIA E***  
***INSTRUMENTACION***  
***(P&ID) Y PLANOS***  
***ISOMETRICOS DE***  
***VALVULAS DE CONTROL.***